



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

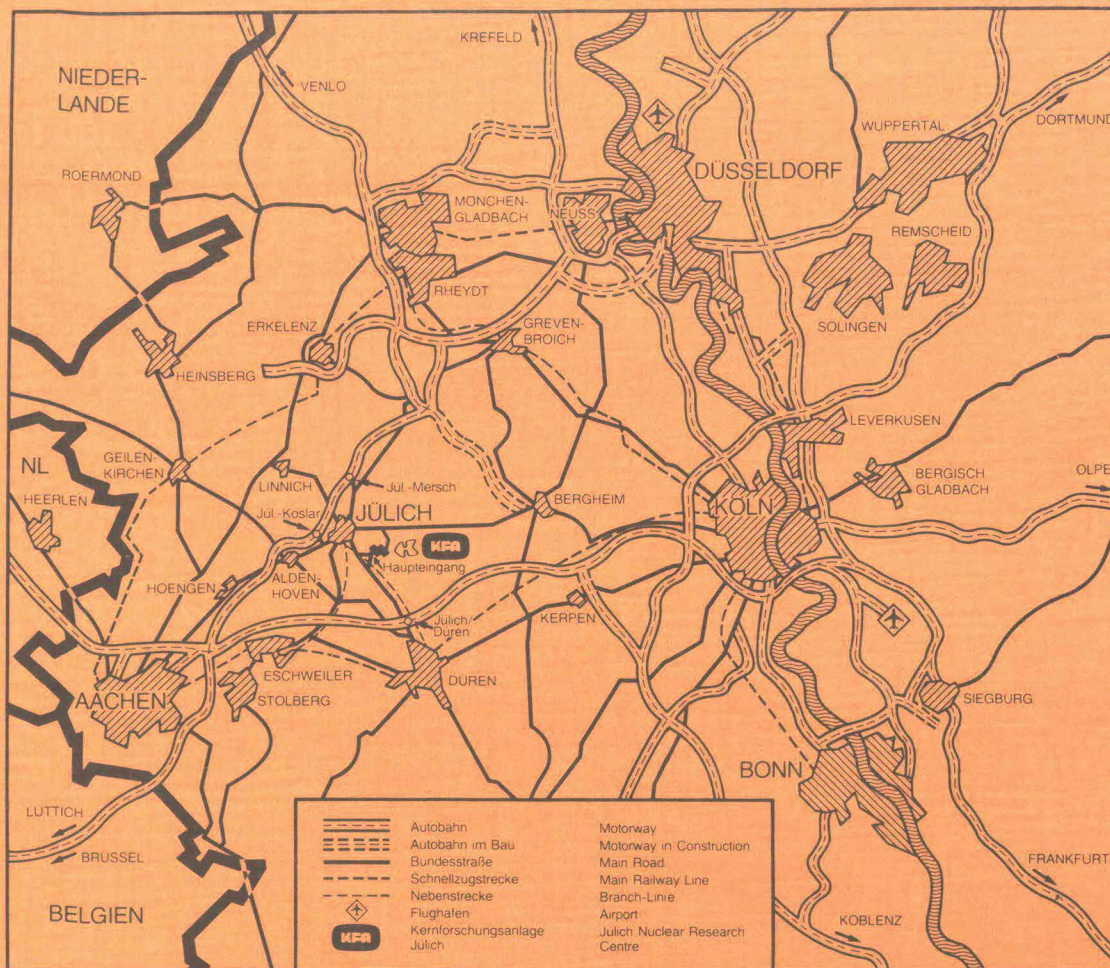
Technische Dienste – Mechanische Werkstätten

Herstellung von Experimentiereinrichtungen in der Betriebsabteilung Technische Dienste – Mechanische Werkstätten (TD-MW)

J. Chatzipetros, C. Doose, N. Hoffmann, H.-J. Kampffmeyer,
H. Schmitz, Ch. Schwab, W. Tillmanns, G. Zimmermann

Jül - Spez - 376
Oktober 1986
ISSN 0343-7639





Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 376
 Technische Dienste – Mechanische Werkstätten Jül-Spez-376

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
 Postfach 19 13 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
 Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

**Herstellung von Experimentiereinrichtungen
in der Betriebsabteilung
Technische Dienste – Mechanische Werkstätten
(TD-MW)**

J. Chatzipetros, C. Doose, N. Hoffmann, H.-J. Kampffmeyer,
H. Schmitz, Ch. Schwab, W. Tillmanns, G. Zimmermann

Inhalt

	Seite		Seite
Zu diesem Bericht	5	Aufträge und ihre Anwendungen	
Technische Dienste – Mechanische Werkstätten (TD-MW)		Molekularstrahlapparatur (IGV)	14
Anforderungen und Aufgaben	7	Photoelektronen-Spektrometer (IGV)	15
Organigramm	8	g-Faktor-Apparatur (IKP)	17
Auftragsablauf	9	Kryostaten für die Luftprobenentnahme aus der Atmosphäre (ICH-3)	20
Technische Einrichtungen	10	– Ballon-Kryosammler	20
Kapazitätsnutzung	11	– Flugzeug-Kryosammler	23
Lageplan	11	– Luftproben-Transport- und -Meßkryostaten	25
Experimententechnik (TD-MW/E)		Xenon-Ausfrierfalle (ICT)	28
Anforderungen und Aufgaben	13	³ He/ ⁴ He-Mischkryostat mit Metallaufdampf-Einsatz und supraleitendem Magneten (IFF-10)	29
Projektierung	13	Röntgen-Kleinwinkel-Streuapparatur (IFF-9)	31
Konstruktion	13	ALMAH, Apparatur für Laserspektroskopie (IFF-12)	32
Fertigungsplanung (TD-MW/P)		UHV-Manipulator mit sechs Freiheitsgraden (IGV)	34
Anforderungen und Aufgaben	39	Laser-Lichtspektrometer (IFF-12)	36
Betriebsmitteltechnik	39	π-(Rückstreu-)Spektrometer mit Dopplerreflektor (IFF-8)	37
Arbeitsablaufplanung	40	Technische Klärung	41
NC-Programmierung	43	NC-Fertigungsbeispiele	43
Fertigungsvergabe	46	Kapazitätserweiterung, Technologieergänzung, Auftragsabwicklung	46
Vermittelbare Fertigungs- und Prüfleistungen	112	Vakuumtestgefäß (TEXTOR/IPP)	47
Auftragssteuerung	50	Neutralinjektions-Teststrecke (TEXTOR/IPP)	48
Kapazitätsbelegung, Auftragsterminierung	50	Tiefseeprobenentnahmegesetz (ICH-4)	49
Materialdisposition	52	RFQ, Radiofrequenz-Quadrupol (ASI)	49
Zusammenarbeit der Werkstätten	53	VAMPYR II (IRB/AVR)	60
Schweißtechnik (TD-MW/S)		Neutronen- und γ-Abschirmungen	62
Anforderungen und Aufgaben	54	Stahlbauten	64
Schweißfachingenieur-Büro	54	Handschuhboxen	64
Schweißerei- und Löttechnik	58	Druckbehälter	65
Apparate- und Stahlbau	62	Funktionsprüfung der g-Faktor-Apparatur (IKP)	70
Fertigungsprüftechnik	65	Funktionsprüfung des ³ He-Kryostaten (IFF/MIN)	71
Fertigungstechnik (TD-MW/F)		NI-Testgitter (ZBB/IPP)	74
Anforderungen und Aufgaben	73	Wirbelbett-Beschichtungsanlage (ICT)	76
Maschinelle Fertigung	73	TEXTOR-HF-Antenne	79
Manuelle Fertigung (Mechanik)	75	Festbettumlaufreaktor (IBT)	84
Feinmechanik, Funkenerosion	80	Diffusions-Versuchsanlage, DIVA (ISF)	86
Schleiftechnik, Werkzeugschleiferei	82	UF ₆ -Gasverdichter (GHH/KfK)	89
Keramik- und Graphitbearbeitung	83	Neutronenspektrometer am FRJ-2, DIDO (IFF-5 und -8)	91
Kunststofftechnik	83	Die Kalte Neutronenquelle am DIDO (IFF/TD-EV)	92
Glastechnik	86	Flugzeitspektrometer SV 5c (IFF-8)	95
Beiztechnik	88	Luftkissenlager	96
Technische Normung (TD-MW/N)		Neutronenleitersystem zum Externen	
Anforderungen und Aufgaben	104	Neutronenleiterlabor ELLA (IFF, AP)	97
Material- und Gerätenormung	104	Neutronen-Kleinwinkel-Streuapparaturen (IFF, Uni Mainz)	101
Standardisierung eines Transistors	105	Literaturhinweise	115
Technische Regelwerke	106	Patente und Patentanmeldungen	117
Druckbehälterherstellung und -betrieb	107		
Vordruckgestaltung	108		
Berufliche Aus- und Weiterbildung			
Facharbeiterausbildung, Werkstattpraktika	109		
Ausländische Fach- und Führungskräfte	111		
Werkstätten- und Maschinenplanung	111		

Zu diesem Bericht

Die Betriebsabteilung Mechanische Werkstätten, eine Organisationseinheit der Technischen Dienste der KFA, ist mit einer Vielzahl jener typischen Aufgaben der Ingenieur-, Fertigungs- und Prüftechnik betraut, die sich in einer modernen Großforschungsanlage stellen. Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über Aufgabenbereiche und Arbeiten der Betriebsabteilung, die gegenwärtig 130 Mitarbeiter hat.

Teilweise sehr ausführlich geht die Darstellung auf einzelne der hergestellten bzw. in Arbeit befindlichen Experimentiergeräte und -apparaturen sowie auf ihre Verwendungen in den Forschungs- und Entwicklungsbereichen der KFA ein. Bestimmend dafür war die Absicht, Art und Umfang der Anforderungen und Aufgaben möglichst gegenständlich zu fixieren. Übersichten über in- und extern verfügbare Erfahrungen, technische Einrichtungen und Verfahren vervollständigen dieses Bild.

Die Kombination beider Betrachtungsweisen schien umso mehr gerechtfertigt, als das Ziel des Berichtes vorrangig ein praktisch-kooperatives ist; er soll über die verfügbaren Techniken informieren und in dem Bestreben nach effektiver Zusammenarbeit als eine Art Leitfaden zu deren Nutzung dienen. Darüber hinaus versteht sich dieser Bericht aber auch als ein Beitrag zum Technologietransfer.

Allen, die tatkräftig zum Gelingen beigetragen haben, sei auch an dieser Stelle ausdrücklich herzlicher Dank ausgesprochen.

Technische Dienste – Mechanische Werkstätten (TD-MW)

Anforderungen und Aufgaben

- Herstellung von Forschungsgeräten und -apparaturen für die experimentellen Forschungsschwerpunkte sowie von Komponenten für Betriebseinrichtungen der KFA
- Organisatorische Gliederung
- Auftragsablauf
- Technische Einrichtungen
- Kapazitätsnutzung

Die Betriebsabteilung *Technische Dienste-Mechanische Werkstätten (TD-MW)* ist in erster Linie mit der Herstellung von Forschungsgeräten und -apparaturen für die experimentellen Arbeitsgebiete sowie mit der Fertigung von Komponenten für Betriebseinrichtungen der KFA befaßt. Das breite Spektrum der technischen und administrativen Anforderungen und Aufgaben bedingt eine entsprechend differenzierte Arbeitsteilung und organisatorische Gliederung (Bild 1).

Die Experimentiereinrichtungen werden ihren wissenschaftlich-technischen Anforderungen entsprechend und in enger Zusammenarbeit mit den jeweils involvierten Fachleuten der Anwenderseite spezifiziert, entwickelt, gebaut, erprobt und in Betrieb genommen (Bild 2). Dabei sind praktikable Problemlösungen, vornehmlich der Hochvakuum-, Tieftemperatur-, Feinwerk- und Spektrometertechnik, Gegenstand der Ingenieur-, Fertigungs- und Prüfaufgaben.

Die *Experimententechnik* setzt wissenschaftlich-technische Konzepte von Experimentiereinrichtungen ingenieurmäßig und fertigungsnah in realisierbare Entwürfe und Konstruktionen der Versuchsgeräte und -apparaturen um. Sie schafft so die technischen Voraussetzungen für deren maschinelle und manuelle Fertigung, für die anschließende Montage und für die Funktionsprüfung.

Der *Schweißtechnik* und der *Fertigungstechnik* erwachsen aus den teilweise extremen Versuchsbedingungen der Experimente und den folglich oft sehr ungewöhnlichen Betriebszuständen der Experimentiergeräte und -apparaturen eine Reihe sehr spezifischer technischer Aufgaben, die weit über die konventionellen Fertigungstechniken und -verfahren hinausgehen – gelegentlich bis an die Grenzen des technisch Machbaren. Das hat einmal Auswirkungen auf die Beschaffung der Zukaufteile sowie auf die Be- und Verarbeitung der sehr unterschiedlichen, teils exotischen metallischen und nichtmetallischen Werkstoffe. Das findet darüber hinaus seinen Ausdruck in dem zunehmenden Einsatz modernster Fertigungsmittel der

Mechanik und Feinmechanik, der Montage-, Glas- und Kunststofftechnik, in dem größeren Gewicht neuer Verfahren der Schweiß-, Löt- und Beiztechnik sowie – in besonderem Maße – der Fertigungs- und Funktionsprüftechnik.

Da die Prototypfertigung weitaus überwiegt, muß die *Fertigungsplanung* im Vorfeld und während der Fertigung komplexe Aufgaben der technischen Klärung und der Arbeitsvorbereitung wahrnehmen; das betrifft z.B. die technische Zulassung, die Arbeitsablaufplanung, die NC-Programmierung, die Materialdisposition, die Auftrags- und Fertigungssteuerung. Vor allem ist dies bei solchen Aufträgen erforderlich, die ohne abgeschlossene fertigungstechnische Vorbereitung, d.h. ohne hinreichende konstruktive, werkstoff-, fertigungs- und prüftechnische Vorgaben erteilt werden.

Sowohl aus Gründen der Kapazitätserweiterung als auch zur Technologieergänzung müssen häufig in- und ausländische Industriefirmen hinzugezogen werden.

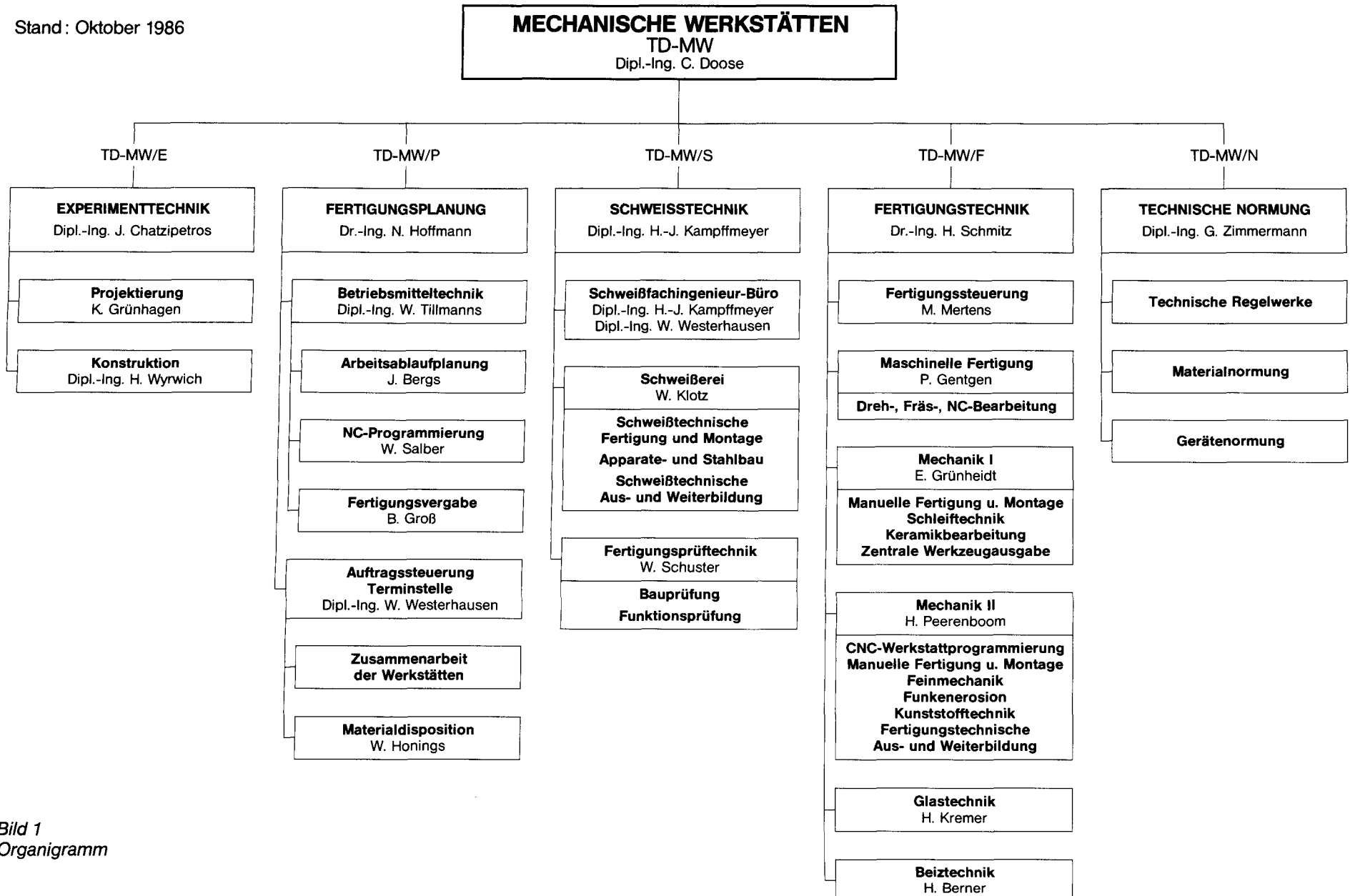
Die *Technische Normung* erfüllt übergeordnete Aufgaben, wozu die Beschaffung, Prüfung und Bereitstellung der bei Planung, Bau und Betrieb von Forschungs- und Betriebseinrichtungen anzuwendenden technischen Vorschriften und Regelwerke gehören. Sie erstellt auch die Zentrallager-Kataloge und bearbeitet den technischen Teil der Bestelltexte, was die technische Grundlage für die wirtschaftliche Beschaffung und Anwendung von gegenwärtig über zwanzigtausend Standardartikeln liefert.

Die technologische Basis der Forschungsgeräte und -apparaturen in der KFA, mit ihren fachlich und räumlich stark gegliederten Bereichen, ist breit und anspruchsvoll, gleichwohl aber in vielen experimentellen Prinzipien und Methoden verwandt und oft von technisch ähnlichem Charakter. Die zentrale Aufgabenstellung, die organisatorische Struktur und die vielseitigen technischen Einrichtungen der TD-MW (Bild 3) tragen dem Rechnung. Das hier realisierte ingenieur-, fertigungs- und prüftechnische Potential fordert einen ständigen experiment- und fertigungsnahen Erfahrungsaustausch mit der Anwenderseite heraus, der wechselseitig wirkt. Er bietet die Gewähr für die stetige Weiterentwicklung sowohl der anforderungsgeordneten Aufgabenstellung als auch der angemessenen Aufgabenbearbeitung; dies wird auch durch die vielseitige Nutzung der Kapazitäten für die Herstellung von Forschungsgeräten und -apparaturen bestätigt (Bild 4).

TD-MW trägt so dazu bei, die Forschungsvorhaben und -ziele der KFA zu unterstützen und zu verwirklichen.

ORGANIGRAMM TD-MW

Stand: Oktober 1986

Bild 1
Organigramm

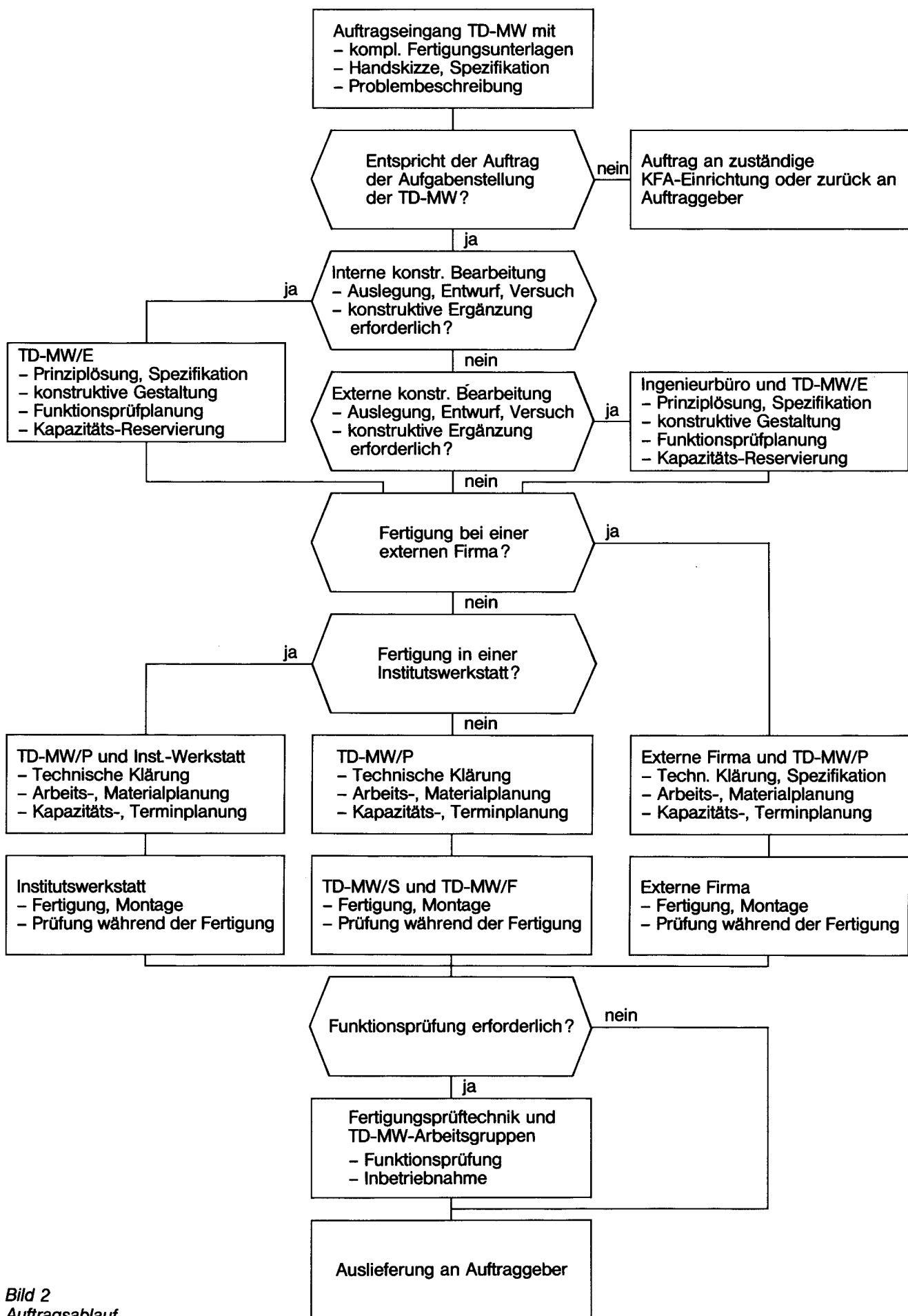
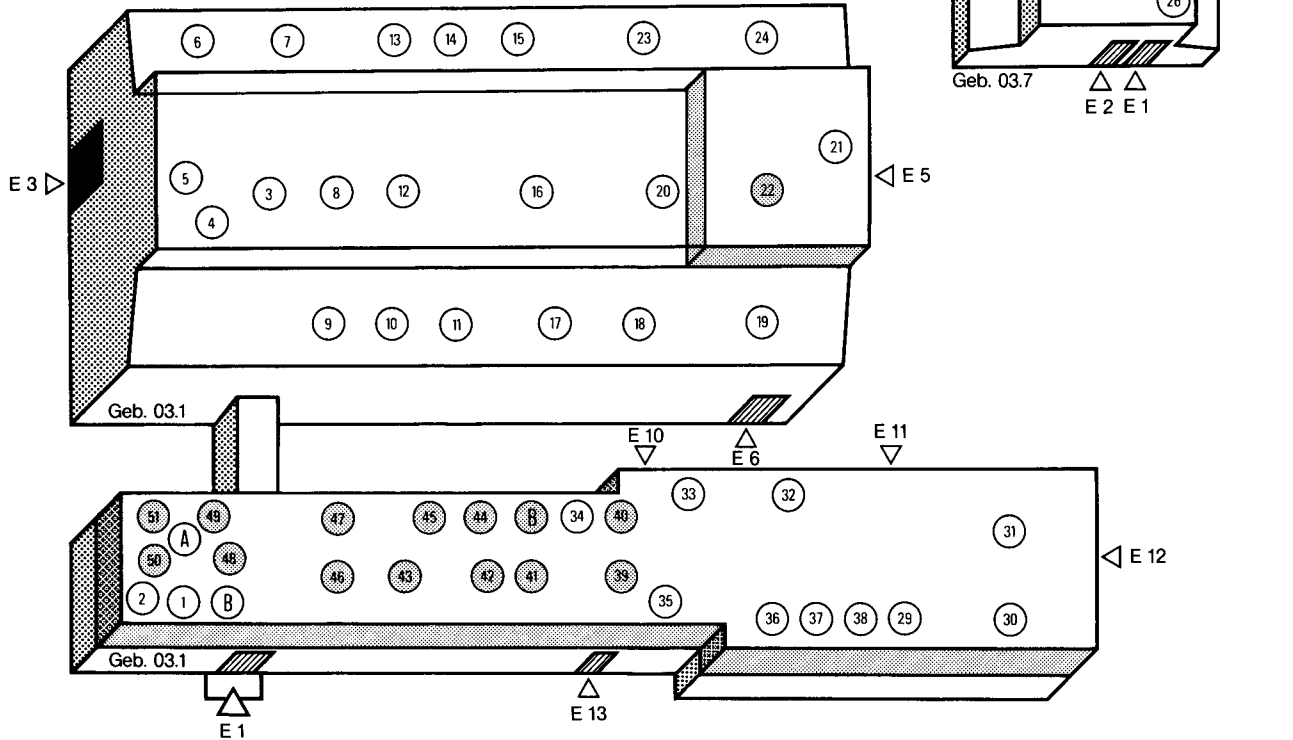


Bild 2
Auftragsablauf

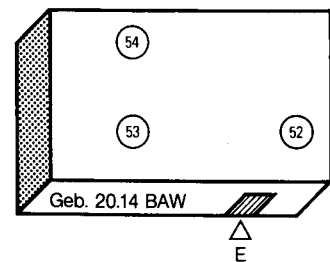
- ① NC-Programmierung/NC-Bearbeitung
- ② Rechnerraum
- ③ Bohr- und Fräswerke
- ④ Dreh- und Tiefbohrmaschine
- ⑤ Karussell-Drehmaschine
- ⑥ NC-Dreh- und Fräsmaschinen
- ⑦ Dreherei
- ⑧ Fräserei
- ⑨ Werkzeugausgabe
- ⑩ Werkzeugschleiferei

Bild 3
Technische Einrichtungen



- ⑪ Schleiftechnik
- ⑫ Mechanik I, Gerätebau
- ⑬ Meisterbüro Hauptwerkstatt
- ⑭ Meßraum
- ⑮ Prüfraum
- ⑯ Großgerätemontage
- ⑰ WIG-Schweißerei
- ⑱ Reinraum
- ⑲ Kryostatenbau
- ⑳ Materialbereitstellung, Station 43
- ㉑ Röntgenraum
- ㉒ Kunststoffwerkstatt
- ㉓ Funktionsprüfung
- ㉔ Teilelager
- ㉕ Apparate- und Stahlbau
- ㉖ Schweißtechnische Ausbildung
- ㉗ Schmiede
- ㉘ Gasdruck-Prüfraum
- ㉙ Meisterbüro Mechanik II
- ㉚ Mechanik-Ausbildung
- ㉛ Mechanik II, Gerätebau
- ㉜ Feinmechanik
- ㉝ Funkenerosion
- ㉞ Keramik- und Grafitbearbeitung
- ㉟ Meisterbüro Glastechnik
- ㊱ Normalglasbearbeitung
- ㊲ Quarzglasbearbeitung
- ㊳ Mechanische Glasbearbeitung
- ㊴ Experimenttechnik
- ㊵ Entwicklung/Konstruktion

- ㊶ Technische Normung
- ㊷ Material- und Gerätenormung
- ㊸ Technische Regelwerke
- ㊹ TD-MW – Büro
- ㊺ Fertigungstechnik
- ㊻ Schweißtechnik/SF-Ing.-Büro
- ㊼ Fertigungsplanung
- ㊽ Fertigungsvergabe
- ㊾ Betriebsmitteltechnik/AV
- ㊿ Techn. Klärung/Arbeitsablaufplanung
- ⓫ Kapazitätsplanung/Auftragssteuerung
- ⓬ Beiztechnik-Betriebslabor
- ⓭ Edelstahl-/NE-Metall-Beizerei
- ⓮ Eisenbeizerei/Galvanik
- ⓯ Aufenthaltsraum
- ⓰ Besprechungsraum

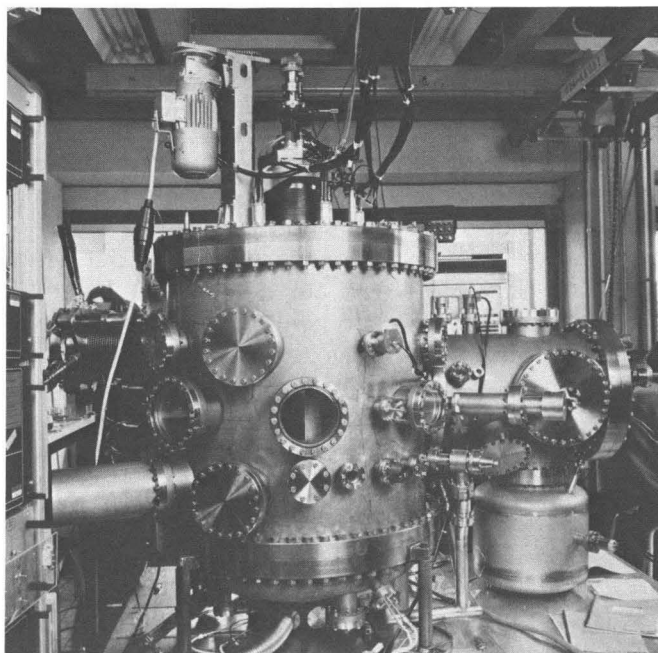




Experimenttechnik (TD-MW/E)

Anforderungen und Aufgaben

- Fertigungsnahe Entwicklung, Konstruktion und Prüfung von Forschungsgeräten und Apparaturen mit vorwiegend experimentorientierten Problemstellungen der Vakuum- und UHV-Technik, der Verfahrens- und Kryotechnik, der Feinwerk- und der Spektrometertechnik.
- Ingenieurmäßige Beratung bei der Planung experimenteller Geräte, Apparaturen und Anlagen; Funktionsfindung, Prinzipielerarbeitung; Erschließung neuer Fertigungsverfahren
- Umsetzung der experimentellen Anforderungen in realisierbare technische Konzepte; Vorentwurf, Spezifikation, Termin- und Kostenplanung
- Konstruktionsentwurf und Berechnung, Detailkonstruktion und Erstellung der Unterlagen für die Fertigung, die Betriebsinstrumentierung, die Fertigungs- und Funktionsprüfung; Reservierung der Fertigungskapazitäten
- Vorversuche zur Sicherung der experimentellen und technischen Anforderungen; Fertigungsbetreuung, Funktionsprüfung, Mitwirkung bei der Inbetriebnahme
- Vorbereitung der technischen Zulassung und Genehmigungsverfahren für überwachungsbedürftige Geräte und Apparaturen



Für die Durchführung der experimentellen Arbeiten an den Forschungsschwerpunkten der KFA wird eine Vielzahl von Versuchseinrichtungen in den Labors und an den Großversuchsanlagen mit teils sehr unterschiedlichen verfahrens- und fertigungstechnischen Anforderungen benötigt, die nur zu einem Teil sinnvoll von außerhalb bezogen werden können. Die Gründe dafür liegen in der Komplexität sowohl der experimentellen als auch der ingenieur-, fertigungs- und prüftechnischen Aufgaben, die von der Planung eines Experimentes bis zu dessen Realisierung möglichst fertigungsnah zu bewältigen sind.

Projektierung

Die Versuchseinrichtungen sind meist Prototypen, deren Herstellung schon während der Funktionsfindung und Prinzipielerarbeitung einen intensiven experimentellen und technischen Erfahrungsaustausch erfordern, der stets zu verbesserten Vorgaben für die anschließende Planungsphase führt und technische Änderungen während der Fertigung reduziert. Die frühzeitige ingenieurmäßige Beratung erleichtert dabei ganz erheblich die Umsetzung der experimentellen Anforderungen in realisierbare technische Konzepte.

Kennzeichnend für derartige Versuchseinrichtungen – von denen nur einige typische auf den nachfolgenden Seiten näher beschrieben werden konnten – sind häufig gemeinsame auslegungs- und fertigungstechnische Grundmerkmale der physikalischen und chemischen Verfahrenstechnik, der Feinwerk- und Spektrometertechnik sowie der Vakuum- und Tieftemperaturtechnik. Sie erfordern daher eine möglichst fertigungsnahe Entwicklung, Konstruktion und Prüfung, damit Kenntnisse und Erfahrungen bei der Planung neuer Prototypgeräte und -apparaturen optimal übertragen und genutzt werden [1–25].

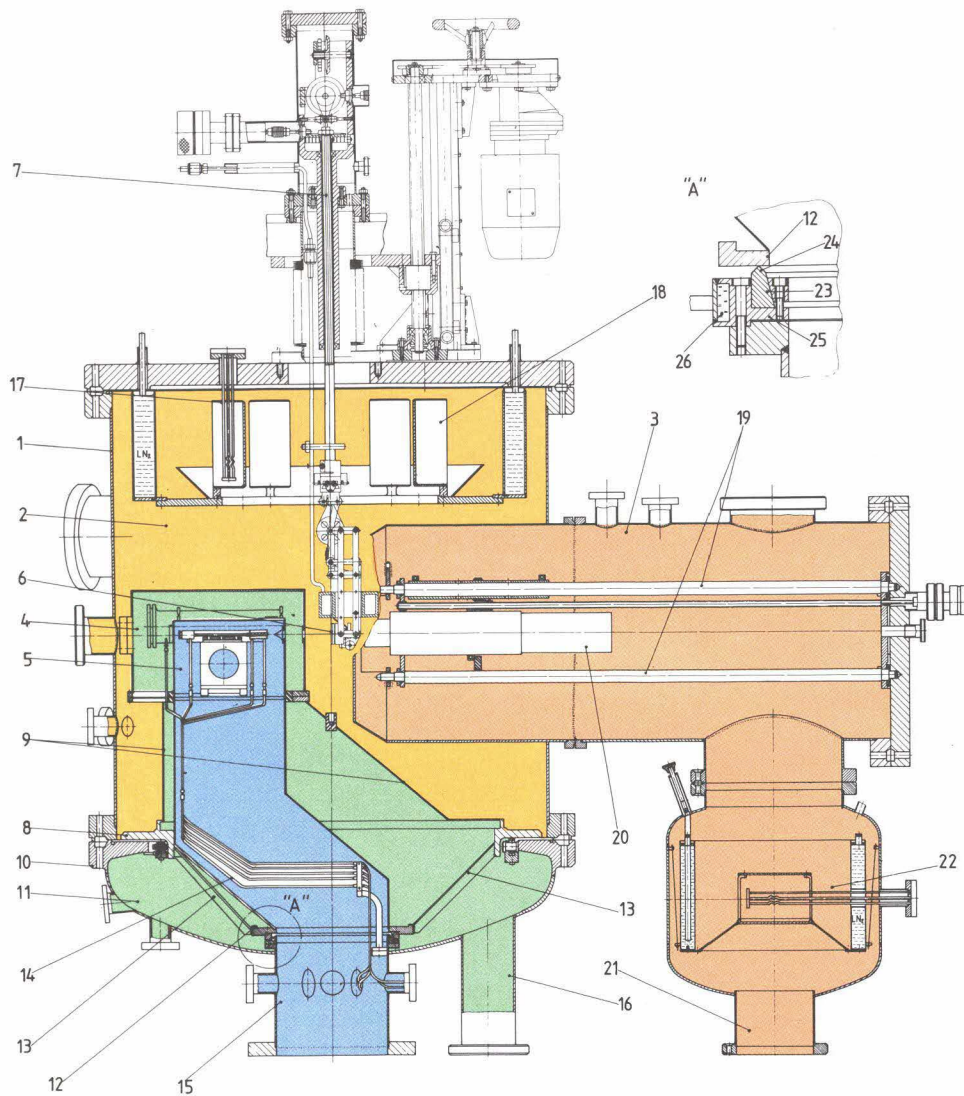
Konstruktion

Der Konstrukteur betreut den von ihm bearbeiteten Auftrag während der Planungs-, Fertigungs- und Prüfphase bis hin zur Inbetriebnahme am Experimentierort. In der Prüfphase kommt der Funktionsprüfung eine besondere Bedeutung zu, da die hohen technischen, experimentspezifischen Anforderungen den Nachweis der erfüllten Auslegungs- und Betriebsdaten vor Auslieferung der Prototypen notwendig machen.

Bild 1

Molekularstrahlapparatur im Labor des IGV; rechts: Detektorkammer mit Titanverdampfer- und Turbomolekularpumpe

Bild 2
Konstruktive Details der
Molekularstrahlapparatur
(IGV)



- 1 Vakuumbehälter
- 2 Probenkammer (gelb)
- 3 Detektorkammer (orange)
- 4 Chopperkammer (grün)
- 5 Düsenkammer (blau)
- 6 Probe
- 7 UHV-Manipulator
- 8 Drehtisch
- 9 Kegelmantel
- 10 Probenkammerflansch
- 11 Rezipientenboden
- 12 Ring
- 13 Gestänge
- 14 Versorgungsleitungen
- 15 Stutzen
- 16 Stutzen
- 17 Titanverdampferpumpe
- 18 Abschirmung
- 19 Führungen
- 20 Chopper
- 21 Stutzen
- 22 Titanverdampferpumpe
- 23 Teflondichtung
- 24 Dichtkante
- 25 Flansch
- 26 Wasserkühlung

Die Arbeitsgruppe Experimententechnik hat deshalb eine zentrale Funktion als Bindeglied zwischen Experiment und Fertigung. Sie ermöglicht eine enge Zusammenarbeit und ständige Wechselwirkung zwischen Wissenschaftlern und Ingenieuren, den Meistern und den Mitarbeitern in der Fertigung. Außer den bereits erwähnten Aufgaben obliegt ihr auch die Termin- und Kostenplanung für den Auftraggeber sowie die Erstellung aller benötigten Unterlagen für die Fertigung und Prüfung.

Molekularstrahl-Apparatur (IGV)

Die Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Gasmolekülen und Festkörperoberflächen, z.B. Korrosion und Katalyse, spielt in der Grenzflächen- und Vakuumphysik eine große Rolle. Sie wird experimentell in Ultrahochvakuum-Apparaturen durchgeführt, die sowohl die Erzeugung von Strahlen aus molekularen Gasen als auch die Strahlführung, die Strahlbeobachtung und die Probenhandhabung ermöglichen und damit der Analyse der Vorgänge dienen, die durch Adsorption und Reflexion der Gasmoleküle an den Probenoberflächen verursacht werden.

Bild 1 zeigt die zusammen mit dem IGV entwickelte Molekularstrahlapparatur, aufgestellt im Labor. In vier ineinander verschachtelten, teilweise ineinander drehbaren Vakuumkammern (Bild 2) sind sehr unterschiedliche Vakua erforderlich: In der Düsenkammer (blau) $\leq 10^{-4}$ mbar, in der Chopperkammer (grün) $\leq 10^{-7}$ mbar, in der Probenkammer (gelb) $\leq 10^{-10}$ mbar, in der Detektorkammer (orange) $\leq 10^{-11}$ mbar. Die Chopperkammer wurde mit der darin befindlichen Düsenkammer exzentrisch angeordnet, sie ist bis 135° um die Proben- bzw. Probenkammerachse drehbar. Beide Kammern sind durch einen verschobenen Kegelmantel voneinander getrennt. Der Drehtisch ist mit Kugellagern auf dem Probenkammerflansch des Rezipientenbodens gelagert, ein weiterer Ring durch ein kegelförmig angeordnetes Gestänge parallel zur Drehtischebene am Drehtisch befestigt.

In der Düsenkammer sind die Versorgungsleitungen für Gas, Wasser und Flüssigstickstoff sowie die Meß- und Heizleitungen verlegt, in der Detektorkammer befinden sich der horizontal längs der Führungen verschiebbare Detektor und der zugehörige Chopper. Sie wird mit einer Turbomolekularpumpe und mit einer Titanverdampferpumpe auf einen Druck von 10^{-11} mbar evakuiert.

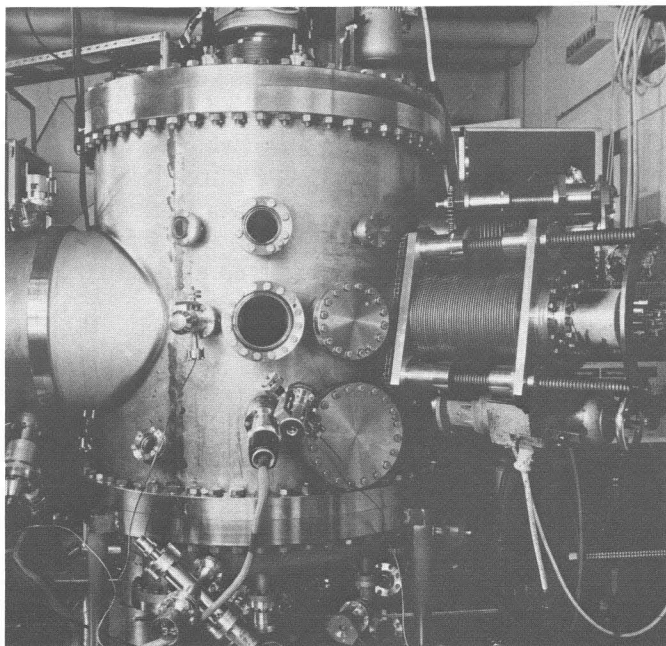


Bild 3
Molekularstrahlapparatur (IGV); rechts oben und darunter: LEED- und AUGER-Verstellmechaniken; im Vordergrund: Argon-Kanone

Zwischen Probenkammer und Chopperkammer besteht eine Druckdifferenz von etwa 10^{-3} mbar. Zu deren Abdichtung wurde der Spalt zwischen Drehtisch und Probenkammerflansch als Dichtspalt mit definiertem Leitwert ausgelegt. Der Spalt ist 20 μm hoch, 80 mm breit und wird von planparallelen Dichtflächen begrenzt, die mit einer Toleranz von 10 μm geschliffen wurden. Die Leckrate zwischen beiden Kammern ist dadurch $\leq 10^{-8}$ mbar l/s.

Die Druckdifferenz zwischen Chopperkammer und Düsenkammer beträgt ebenfalls etwa 10^{-3} mbar. Hier wird die Abdichtung durch leichte Anpressung eines Ringes gegen eine Teflondichtung mit Dichtkante erreicht (Ausschnitt "A"). Das Leck zwischen den beiden Kammern ist $\leq 10^{-6}$ mbar l/s.

Der äußere Vakuumbehälter enthält sehr viele Fenster und Flanschanschlüsse (Bilder 1 und 3), welche die Fertigung sehr erschwerten und bei Vakuumrezipienten dieser Größe außerordentlich sorgfältig geschweißt werden müssen, um die geforderten, sehr niedrigen Drücke zu gewährleisten. Sie sind für die Anbringung von Beobachtungs- und Meßeinrichtungen, für die LEED- und AUGER-Verstellmechaniken und für Vakuumpumpen vorgesehen.

Der für die Handhabung und Justierung der Probe mit sechs Freiheitsgraden notwendige UHV-Manipulator [1] ist am oberen Deckel der Apparatur befestigt. (Bild 4; s. auch Seite 34). Die Molekularstrahlapparatur ist bis 350°C ausheizbar, um die UHV-Betriebsbedingungen von etwa 10^{-11} mbar für die Experi-

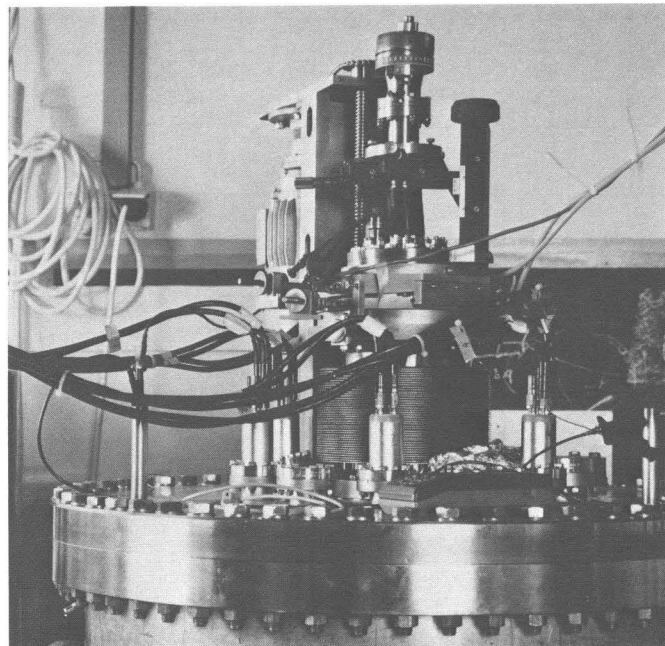


Bild 4
UHV-Manipulator und Manipulatorantrieb auf dem Deckel der Molekularstrahlapparatur (siehe auch Seite 34)

mente zu erreichen. Während des Ausheizens ist es notwendig, die Teflondichtung mit Wasser zu kühlen.

Photoelektronen-Spektrometer (IGV)

In Zusammenarbeit mit dem IGV wurde ein Spektrometer für spinpolarisierte Photoelektronen (Bilder 5 bis 9) entwickelt. Es wird am Berliner Elektronensynchrotron (BESSY) zur Messung der Energie- und Winkelverteilung von Photoelektronen eingesetzt, die mit zirkular polarisierter Synchrotronstrahlung an nicht magnetischen Kristallen ausgelöst werden.

Den mechanischen Aufbau des Spektrometers zeigt Bild 6. Die aus Elektronenoptik mit Energieanalysator und Elektronennachweissystem mit Detektorkristall-Goniometer bestehende Detektoreinheit (Bild 9) muß während der Versuchsdurchführung mit Hilfe einer in Bild 6 farblich hervorgehobenen Antriebsmechanik reproduzierbare Dreh-, Kipp- und Längsbewegungen sowohl um die vertikale (H_V) als auch um die horizontale (H_H) Probenachse ausführen. Die Rotation um H_V um $\pm 150^\circ$ muß reproduzierbar sein auf $\pm 0,10^\circ$, die Rotation um H_H , entkoppelt von H_V , für die fest einstellbaren Positionen $+90^\circ$, 0° , -90° , reproduzierbar auf $\pm 0,2^\circ$, und die Translation vertikal entlang H_V bis zu den einstellbaren Endpositionen, reproduzierbar auf $\pm 0,15$ mm.

Detektoreinheit und Antriebsmechanik befinden sich in einer zweiteiligen UHV-Kammer mit 800 mm Nenn-

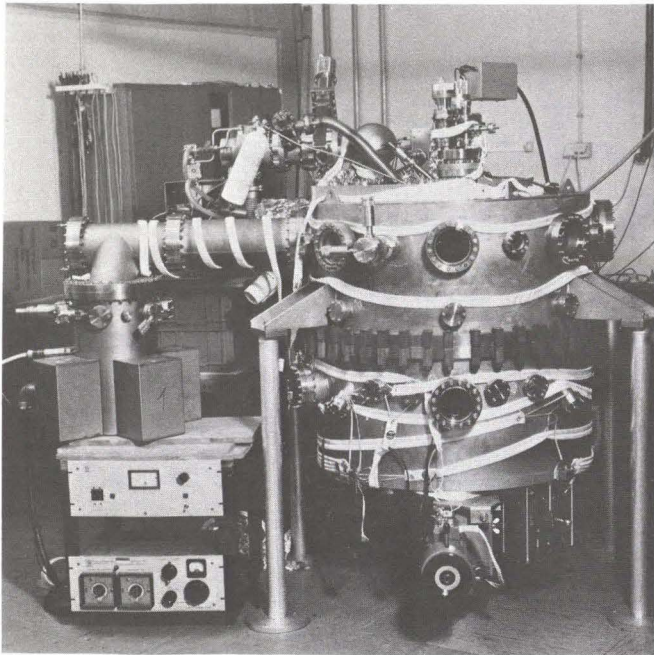
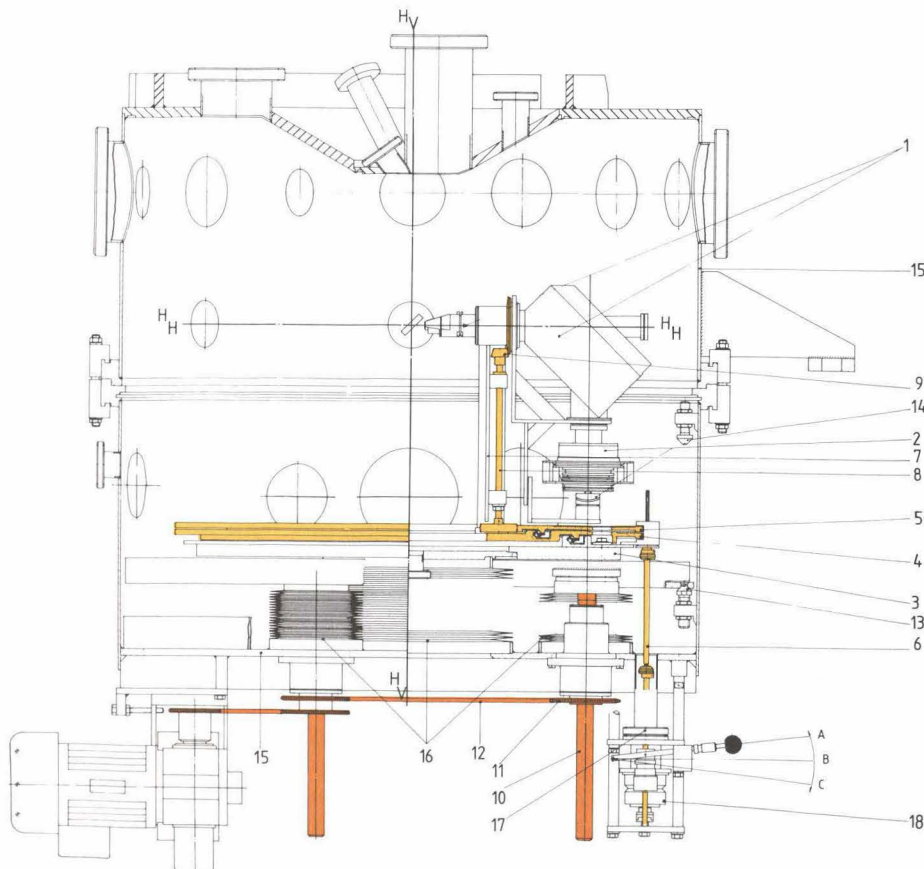


Bild 5
Photoelektronen-Spektrometer im Labor des IGV; unten: Teile der äußeren Antriebsmechanik; links oben: Vakuum-Pumpleitung mit Ionenzerstäuberpumpe

weite, die für den Dauerbetrieb auf einen Druck von $\leq 10^{-10}$ mbar evakuierbar ist. Die Detektor-Dreh- und -Kippmechanik (gelb) wird mit einem UHV-Manipulator mit Schrittmotor angetrieben. Dazu sind auf der Grundplatte des Spektrometers zwei Drehtischringe mit Radiallagern angeordnet. Der obere Drehtisch ist als Zahnrad mit Außen- und Innenverzahnung an den Zylinderflächen ausgebildet, während der untere Drehtischring nur eine Außenverzahnung besitzt (Bilder 7 und 8).

Die Drehbewegungen um die Achsen H_H und H_V werden mit einem Hebel in die Stellungen A, B und C des UHV-Manipulators geschaltet. In der Stellung A dreht die Manipulatorwelle nur den oberen Drehtischring. Da der Lagerbock mit dem unteren stillstehenden Drehtischring verschraubt ist, erfolgt die Kraftübertragung mit der Welle über den Kegelradantrieb und bewirkt die Drehung der gesamten Detektoreinheit um die Spektrometerachse H_H . In der Hebelstellung B laufen die Drehtischringe synchron und drehen sich mit dem Detektorsystem um die Spektrometerachse H_V , während in der Hebelstellung C beide Drehtischringe mechanisch festgestellt werden.



- 1 Elektronenoptik mit Energieanalysator
- 2 Elektronennachweissystem mit Detektorkristall-Goniometer
- 3 Grundplatte
- 4 Unterer Drehtischring
- 5 Oberer Drehtischring
- 6 Manipulatorwelle
- 7 Lagerbock
- 8 Welle
- 9 Kegelradgetriebe
- 10 Hubspindel
- 11 Kettenrad
- 12 Kette
- 13 Anschlag
- 14 Anschlag
- 15 UHV-Kammer
- 16 Membranbälge
- 17 Manipulator-Drehdurchführung
- 18 UHV-Manipulator

H_H Horizontale Spektrometerachse
 H_V Vertikale Spektrometerachse

Bild 6
Mechanischer Aufbau des Photoelektronen-Spektrometers (IGV) mit Detektor-Dreh-Kippmechanik (gelb) und Hubmechanik (orange)

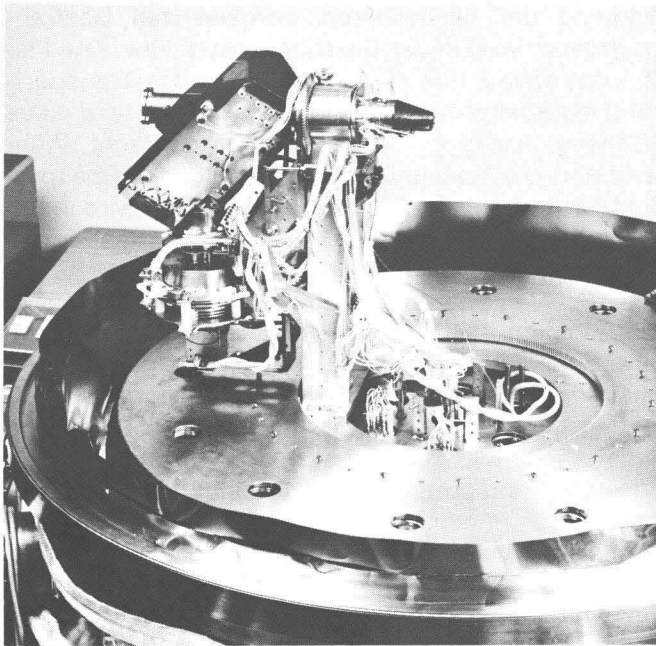


Bild 7
Detektoreinheit auf dem unteren Drehtischring montiert; oberer Drehtischring mit innerer und äußerer Verzahnung

Zur Erzeugung der Hub- und Senkbewegung entlang der Spektrometerachse H_V dient eine Hubmechanik (orange). Dafür ist die Grundplatte auf drei mit 120° Abstand angeordneten, mit Ketten und Kettenrädern synchron angetriebenen Hubspindeln gelagert. Die

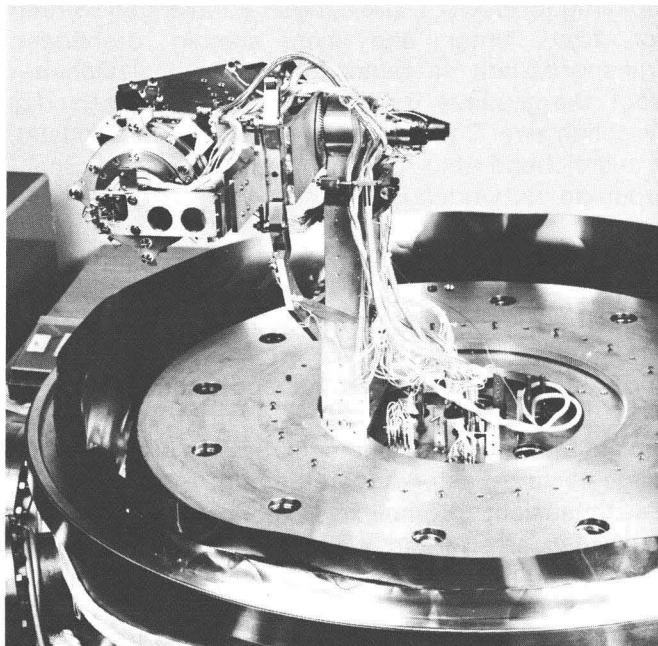


Bild 8
Detektoreinheit um 90° zur Spektrometerachse H_H gekippt. Die in beiden Bildern sichtbare Verkabelung zur Steuer- und Meßelektronik wurde im IGV ausgeführt.

Hubbewegung wird durch Anschläge begrenzt; die UHV-Kammer ist hier mittels Membranbälgen und Manipulator-Drehdurchführung abgedichtet.

Das Photoelektronen-Spektrometer ist bis 350°C ausheizbar und aus amagnetischen Werkstoffen hergestellt, eine Forderung, die insbesondere schweißtechnisch nur schwer realisierbar war.

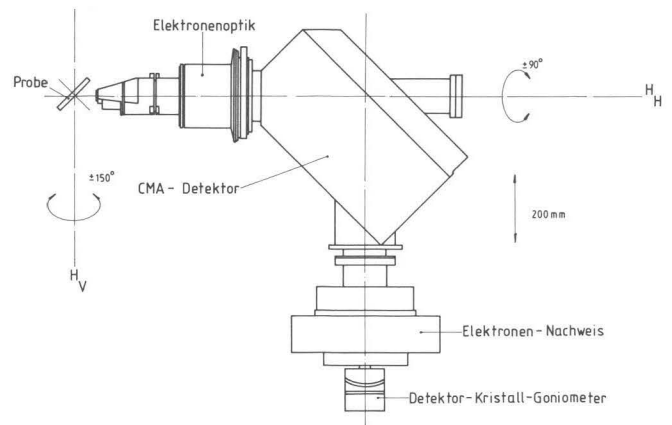


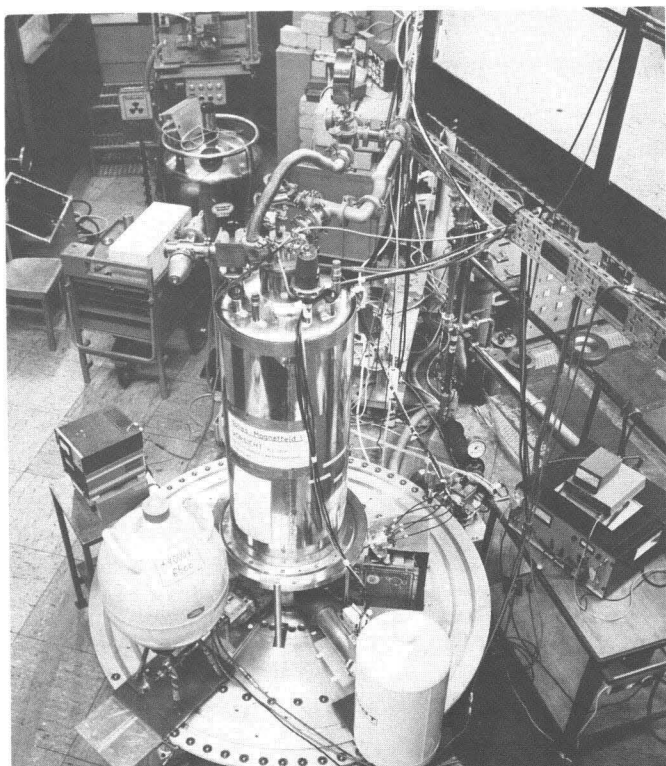
Bild 9
Detektoreinheit des Photoelektronen-Spektrometers; schematische Darstellung der Bewegungsabläufe und der Baugruppenanordnung (s. auch Seite 81, Bild 17)

g-Faktor-Apparatur (IKP)

Beim Zerfall von Atomkernen entstehen Spaltprodukte mit angeregten Kernzuständen, deren gyromagnetisches Moment (g-Faktor) Aufschluß über ihren Kernaufbau und ihre Zerfallseigenschaften liefern kann. In der zusammen mit dem IKP entwickelten g-Faktor-Apparatur (Bilder 10 bis 13) werden Spaltprodukte aufgefangen und zur Messung des g-Faktors in ein homogenes Magnetfeld transportiert. In einer Ebene senkrecht zum Magnetfeld B wird dann für zwei entgegengesetzte Feldpolungen die γ - γ -Koinzidenz der von den Kernen ausgesandten Gammastrahlung in Abhängigkeit vom Winkel Θ zwischen zwei horizontal um die senkrechte Magnetachse schwenkbaren Detektoren gemessen (Bild 11, oben links und rechts).

Die Spaltprodukte entstehen in einem Horizontalstrahlrohr des FRJ-2 (DIDO) durch ^{235}U -Bestrahlung und Zerfall des dadurch erzeugten ^{236}U . Sie gelangen am äußeren Strahlrohrende in den Massenseparator JOSEF und werden nach der Massentrennung in der g-Faktor-Apparatur von einem Transportband (rot) übernommen (Bild 11). Wegen des hohen Gamma-Untergrundes am Strahlrohrende ist ein Mindestabstand zwischen Bestrahlungs- und Meßort notwen-

dig. Da die Güte Q der Meßanordnung aber durch $Q = B^3/d^4$ definiert ist, mußte der Abstand d zwischen Bestrahlungs- und Meßort durch eine kompakte Magnet- und Kryostatenbauweise so klein wie möglich gehalten werden [2,3].



*Bild 10
g-Faktor-Apparatur (IKP); Gesamtansicht der Appa-
ratur am Massenseparator JOSEF im FRJ-2 (DIDO)*

Die in Bild 11 schematisch dargestellte Apparatur besteht aus einem Kryostaten mit supraleitendem Split-Pair-Magneten, einem Drehtisch mit angekoppelten Detektoren und einem Untergestell, das die Bandkammer mit vier außenliegenden Zahnriemenantrieben, mit einer komplexen Getriebereinheit und mit einem innenliegenden Transportband aufnimmt.

Die aus dem Strahlrohr extrahierten Spaltprodukte werden am Bestrahlungsort von dem Transportband übernommen und zum Meßort transportiert. Da jeweils eine bestimmte Bestrahlungs- und Meßzeit erforderlich ist, erfolgt der Transport diskontinuierlich durch die Getriebereinheit. Sie besteht aus einem Malteserkreuzgetriebe, dem ein Viergelenk-Getriebe vorgeordnet ist. Diese formt die konstante Winkelgeschwindigkeit des Bandantriebes in eine periodisch wechselnde um. Der Bereich der höchsten Winkelgeschwindigkeit wird für den Antrieb des Malteserkreuzes (Bild 13) genutzt. Dadurch benötigt das Malteserkreuzgetriebe statt 25 % für eine Viertelumkehrung nur noch 10 % der entsprechenden kontinuierlichen Getriebe-Umlaufzeit und befindet sich zu 90 % der Umlaufzeit in Ruhestellung.

Während der einstellbaren, vorgewählten Bestrahlungsdauer wird in der Bestrahlungsposition eine Fläche von etwa 8 mm \varnothing auf dem ruhenden Transportband mit Spaltprodukten bestrahlt. Danach wird diese Fläche ruckartig in die Meßposition gebracht. Während dort die Messung an den zerfallenden Spaltproduktkernen in mehreren Intervallen erfolgt, wird in der Bestrahlungsposition eine neue Fläche des Transportbandes bestrahlt.

Die Funktion der Transportbandmechanik geht in interessanten Details aus Bild 12 hervor. Das zwischen Bestrahlungsposition und Meßposition im supraleitenden Magneten einerseits und dem Bandmagazin andererseits teils kontinuierlich, teils diskontinuierlich bewegte Transportband (rot) befindet sich im evakuierten Innenraum der Bandkammer, in der das Schnelltransportrad über das auf der Rückseite montierte Malteserkreuz (Bilder 11 und 13) mit der oben beschriebenen Getriebereinheit verbunden ist. Während der für Bestrahlung und Messung notwendigen Ruhestellung des zwischen Schnelltransportrad und Halterad befindlichen Bandlelementes bildet sich die hintere Bandschleife in der für den folgenden Schnelltransport benötigten Länge. Gleichzeitig wird die vordere Bandschleife, die sich während des vorangegangenen Schnelltransportes zwischen dem Schnelltransportrad und dem sich ständig drehenden vorderen Transportrad gebildet hat, abgebaut und kontinuierlich in das Bandmagazin transportiert.

Zur Reduzierung der Bandriß verursachenden Massenkräfte im Transportband wird also nur das Bandlelement zwischen Schnelltransportrad und Halterad ruckartig fortbewegt. Die übrigen Bandlängen werden vor bzw. hinter den sich ständig drehenden Transporträdern im Bandmagazin kontinuierlich bewegt. Die gesamte Bandlänge ist so bemessen, daß zwischen zwei Bestrahlungen an derselben Bandstelle ausreichend Abklingzeit für die untersuchten Spaltprodukte vorhanden ist.

Die schnellste Betriebsart des Transportbandes ermöglicht je eine Messung und Bestrahlung pro Sekunde bei einer Transportzeit von 0,1 s zwischen Bestrahlungs- und Meßort. Sie erfordert Andrückrollen zur Bandsicherung an den Transporträdern.

Die am Massenspektrometer JOSEF im FRJ-2 (DIDO) aufgestellte g-Faktor-Apparatur zeigt Bild 10 in einer Gesamtansicht. Komplexe Experimentiereinrichtungen wie diese erfordern eine sorgfältige Fertigung mit wiederholten Prüfungen sowie umfangreiche Funktionsprüfungen mit dem Ziel, die Erfüllung der gestellten experimentellen und betrieblichen Anforderungen vor der Aufstellung am Experimentierort zu bestätigen und bei der Fertigung und Montage aufgetretene Mängel rechtzeitig zu beheben. Art und Umfang derartiger Prüfungen sind am Beispiel der g-Faktor-Apparatur auf Seite 70 (Bilder 35 und 36) beschrieben.

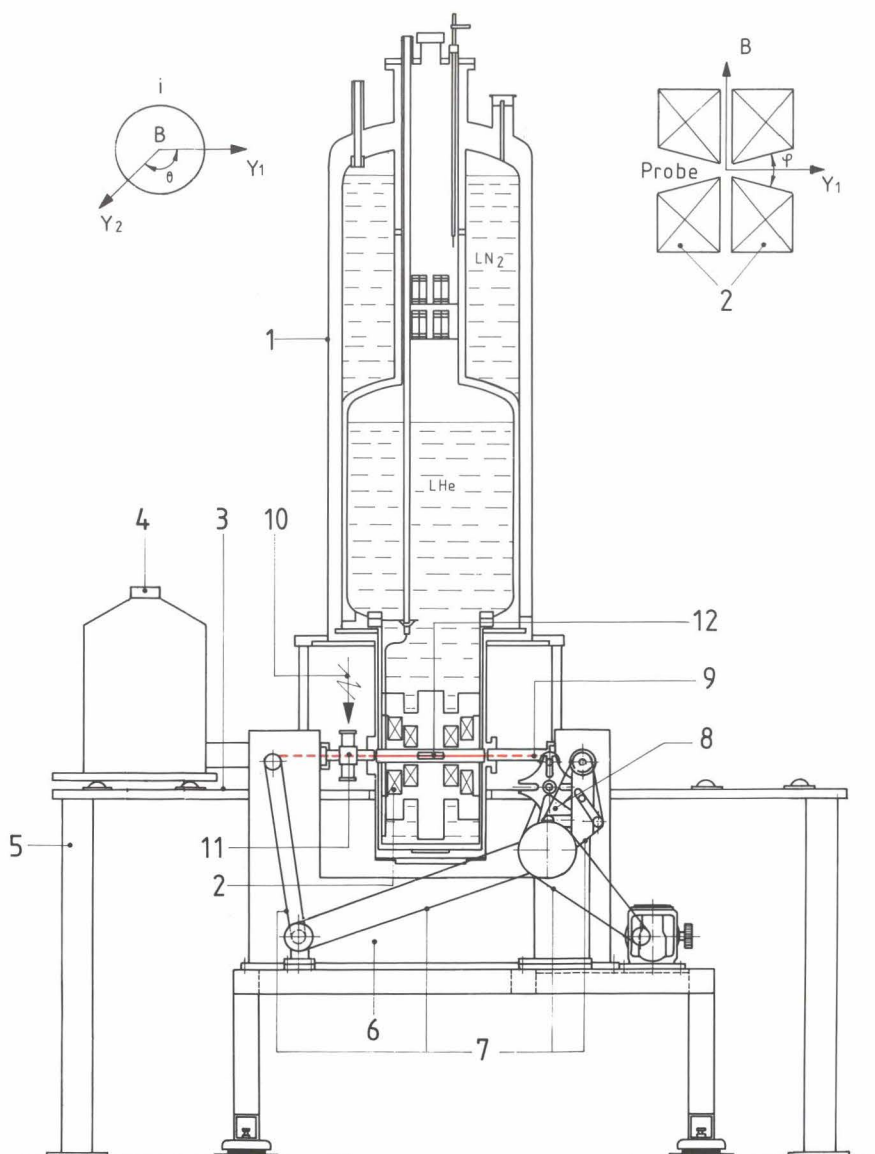


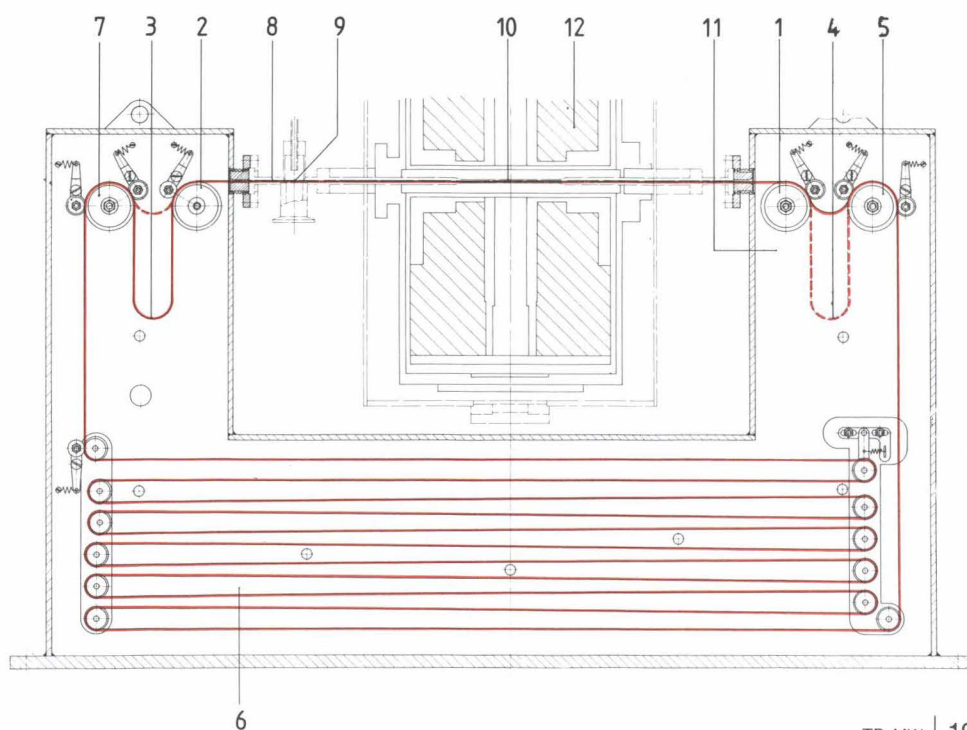
Bild 11

g-Faktor-Apparatur; schematischer Aufbau der mechanischen, vakuum- und kryotechnischen Komponenten

- 1 Kryostat
- 2 Split-Pair-Magnet
- 3 Drehtisch
- 4 Detektor
- 5 Untergestell
- 6 Bandkammer
- 7 Zahnriemenantrieb
- 8 Getriebeeinheit aus Vierecken- und Malteserkreuzgetriebe
- 9 Transportband (rot)
- 10 Strahlrohr
- 11 Bestrahlungsart
- 12 Meßort

Bild 12
Bandkammer der g-Faktor-Apparatur mit Transportbandmechanik und Transportband (rot)

- 1 Schnelltransportrad
- 2 Halterad
- 3 Hintere Bandschleife
- 4 Vordere Bandschleife
- 5 Vorderes Transportrad
- 6 Bandmagazin
- 7 Hinteres Transportrad
- 8 Bandlelement
- 9 Bestrahlungsposition
- 10 Meßposition
- 11 Evakuierter Innenraum
- 12 Supraleitender Magnet



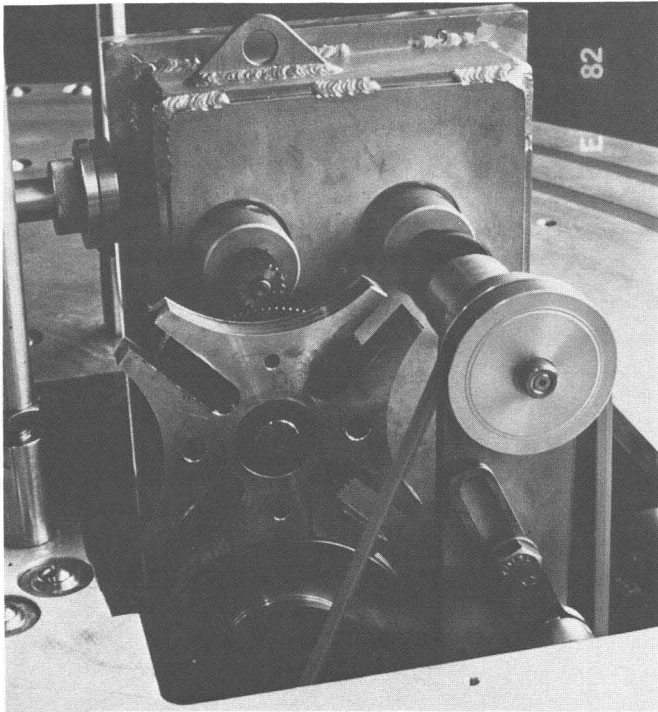


Bild 13
Das Malteserkreuz, ein Teil der komplexen Getriebeeinheit für den diskontinuierlichen Bandantrieb

Kryostaten für die Luftprobenentnahme aus der Atmosphäre

Der Einfluß natürlicher und anthropogener, gas- und staubförmiger Schadstoffe auf die gesamte Atmosphäre und die mit ihr verbundenen Biotope wird wissenschaftlich eingehend untersucht mit dem Ziel, wirksame Strategien für die Lösung der damit zusammenhängenden Umweltprobleme zu entwickeln.

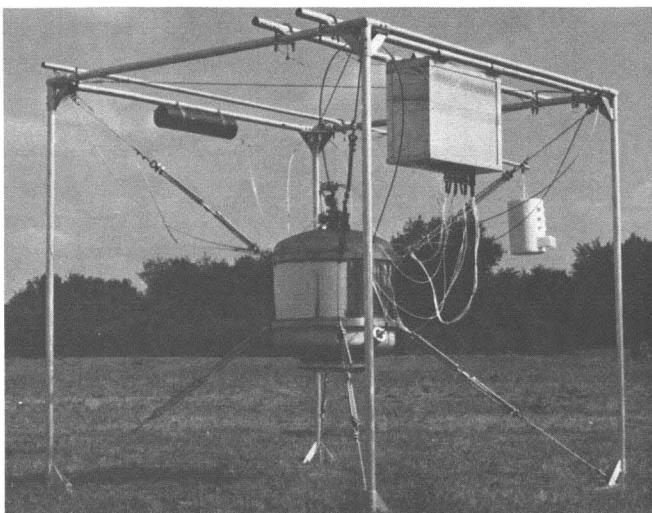


Bild 14
Ballon-Kryosammler (ICH-3) im elastischen Landegerüst für die Landung in unwegsamem Gelände (Landegeschwindigkeit ca. 5 m/s)

Naheliegender ist, Schadstoffe und ihre Konzentrationen unmittelbar zu messen. Wegen ihrer hohen chemischen Reaktivität haben sie aber nur eine sehr kurze Lebensdauer und daher nur extrem niedrige Konzentrationen, Eigenschaften, die bei der Probennahmetechnik sorgfältig berücksichtigt werden müssen.

Es sind also Geräte und Apparaturen notwendig, die sowohl den Anforderungen der Probennahme und des Probenverkehrs als auch den experimentellen Erfordernissen im Labor entsprechen.

Der Ballon-Kryosammler (Bilder 14 bis 17), der Flugzeug-Kryosammler (Bilder 18 bis 20), der Transport- und der Meßkryostat stellen mit den zugehörigen Schleusen und der Handhabungsmechanik (Bilder 21 und 22) derart angepaßte technische Systeme dar. Sie wurden auf der Basis experimenteller, ingenieur- und fertigungstechnischer Erfahrungen zusammen mit dem ICH-3 entworfen, gefertigt und erprobt und werden laufend optimiert [4,5,6,7].

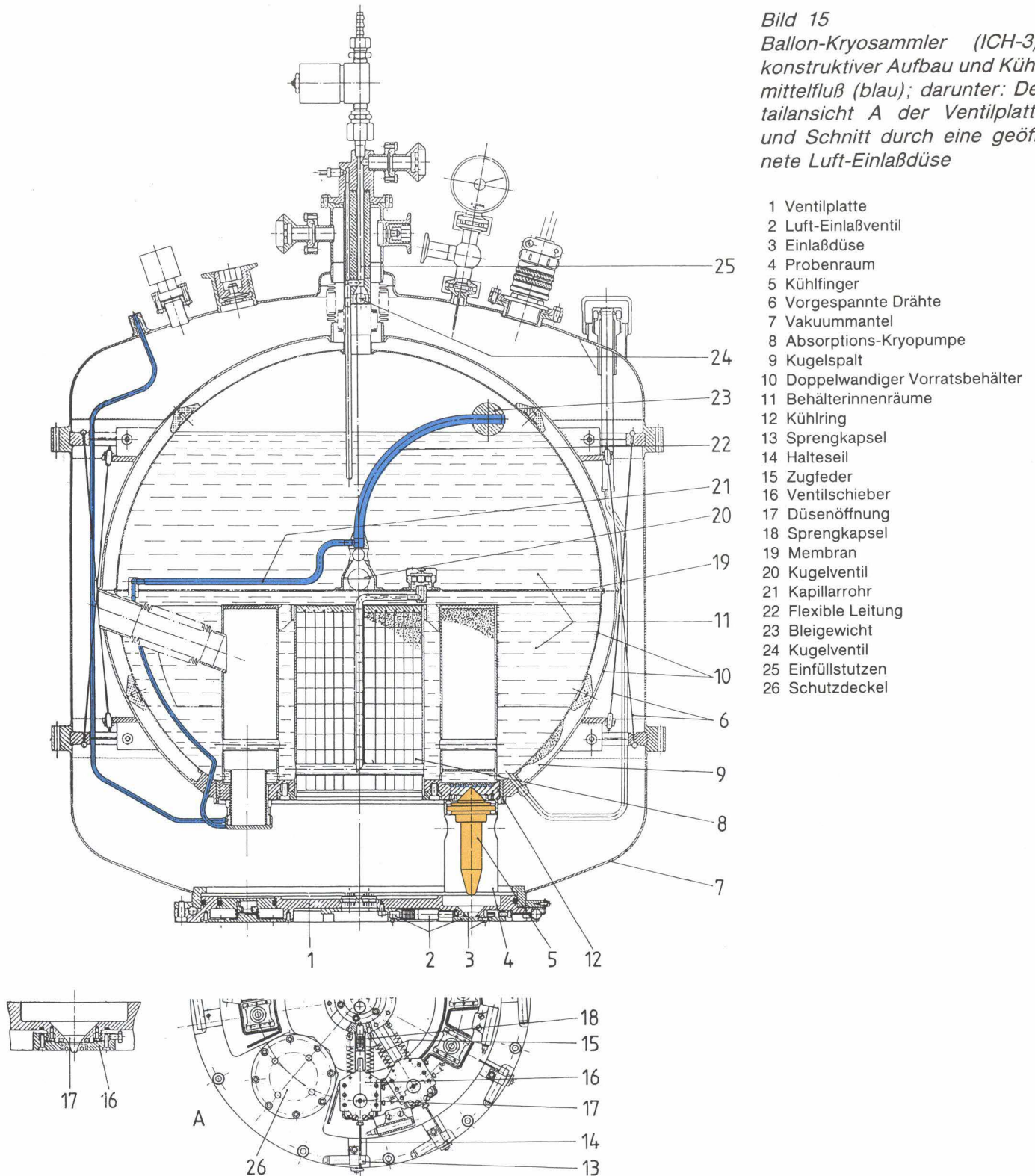
Ballon-Kryosammler (ICH-3)

Die Luftprobensammlung mit Ballon-Kryostaten ermöglicht die Untersuchung und Messung einer großen Zahl von Spurenstoffen aus der Stratosphäre. Der in einem Landegerüst montierte Kryosammler (Bild 14) wird dazu mit heliumgefüllten Ballons in Höhen von ca. 40 km getragen und durchfliegt entsprechend der Versuchsplanung mehrere Höhengniveaus.

Am äußeren Boden des Sammlers (Bild 15) befindet sich eine Ventilplatte mit über Funk fernbedienbaren Luft-Einlaßventilen. Wird ein Ventil kurzzeitig geöffnet, dann strömt Luft durch Einlaßdüsen in den evakuierten Probenraum und kondensiert an den tiefkalten Kühlfingern (gelb). Der Vakuummantel des Kryostaten ist evakuiert, das Vakuum wird mit einer Absorptions-Kryopumpe aufrechterhalten. Der doppelwandige, aus Isoliergründen im Kugelspalt ebenfalls evakuierte Vorratsbehälter enthält in den beiden halbkugelförmigen Behälterinnenräumen ein Flüssiggas als Kühlmittel, z.B. Neon oder Stickstoff, und kühlt durch Wärmeleitung die am Kühlring angeschraubten Kühlfinger [5].

Mechanische Details der mittels fünf Telekommando- und fünf Telemetriefunkkanälen über Funk fernbedienbaren Luft-Einlaßventile und der zugehörigen Düsenkonstruktion zeigt Bild 15 (unten) mit der Ventilplatte und dem Schnitt A durch ein geöffnetes Luft-Einlaßventil. Die Sprengkapseln werden in der vorgesehenen Flughöhe gezündet, wodurch das Halteseil gekappt wird. Mit Hilfe der Zugfedern bewegt sich der Ventilschieber radial nach innen und gibt die darunterliegende Düsenöffnung frei. Nach einer Sammelzeit von 30–40 Minuten wird eine zweite Sprengkapsel gezündet. Sie besteht aus einem geschlossenen

Bild 15
Ballon-Kryosammler (ICH-3);
konstruktiver Aufbau und Kühl-
mittelfluß (blau); darunter: De-
tailansicht A der Ventilplatte
und Schnitt durch eine geöff-
nete Luft-Einlaßdüse



Faltenbalg mit dem darin enthaltenen Sprengstoff, durch dessen Verbrennung ein Gasdruck von etwa 4 bar entsteht. Dieser bewirkt eine Ausdehnung des Metallbalges, wodurch der Ventilschieber in seine Ausgangsposition zurückgeschoben wird und so die Düsenöffnung wieder abdichtet. Eine Außen- und eine Innenansicht der Ventilplatte zeigen die Bilder 16 und 17 mit den Einlaßventilen und Einlaßdüsen sowie mit den feinmechanischen Details der Einlaßventile.

Nach einigen Stunden Flugzeit landet der Sammler, getragen von drei Fallschirmen, mit einer Aufprallgeschwindigkeit von etwa 5 m/s. Da der Landeplatz bei Ballonflügen nicht genau vorherbestimmt werden kann und die Landung eventuell auch im Gebirge, auf Bäumen usw. erfolgt, ist der Sammler stoßfest und überrollsicher in einem elastischen Landegestell aufgehängt (Bild 14). Auch der doppelwandige Vorratsbehälter ist mit den daran befestigten Einrichtungen

durch vorgespannte Seile elastisch im Vakuummantel aufgehängt, so daß dessen Beschädigung selbst bei starken Stoßkräften ausgeschlossen ist.

Bis der Kryosammler gefunden ist, muß die Kühlung der wertvollen Proben in beliebiger Lage des Sammlers zuverlässig funktionieren. Kippt der Kryostat z.B. 180° um die horizontale Achse, dann fließt das Kühlmittel in die entgegengesetzte Richtung, und der Kühlring mit den Kühlfingern könnte sich erwärmen. Um dies zu verhindern, ist der Innenraum des doppelwandigen Vorratsbehälters durch eine Membran in zwei halbkugelförmige Flüssiggastanks aufgeteilt (Bild 15). Das Auslaufen des Kühlmittels von dem – jetzt oberen – Innenraum in den nun unteren wird aber durch ein Kugelventil an der Membran verhindert, so daß die kontinuierliche Kühlung des Kühlringes erhalten bleibt. Ein zweites Kugelventil am Einfüllstutzen verhindert das Auslaufen der Kühlflüssigkeit in dieser Lage aus dem – jetzt unteren – Flüssigkeitstank durch den Einfüllstutzen.

Die kontinuierliche Kühlmittelversorgung des Kühlringes und damit der Kühlfinger mit den Luftproben wird mittels eines Kapillarrohres sichergestellt, an dessen Ende sich eine flexible Leitung mit einem Bleigewicht befindet, die ständig in das Kühlmittel eingetaucht bleibt. Der Kühlmittelfluß (blau) wird durch Ausnutzung der sich einstellenden Druckdifferenzen im System gewährleistet.

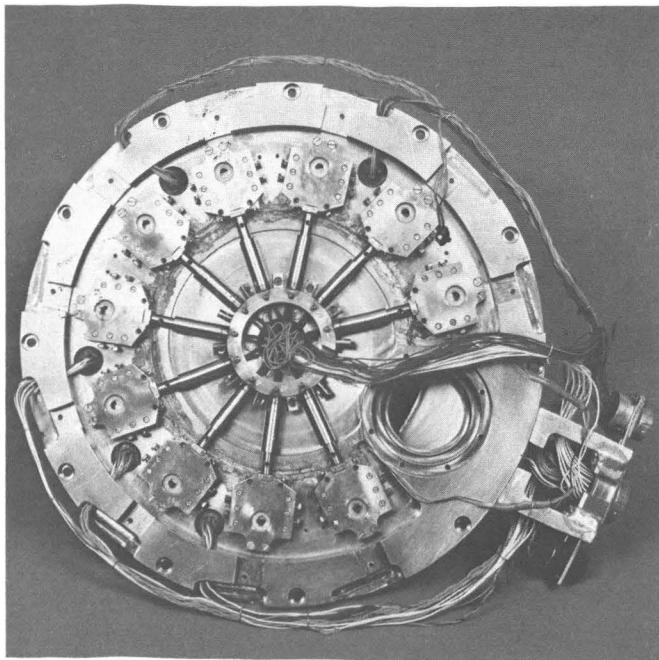


Bild 16
Außenansicht der am Boden des Kryosammlers angeordneten Ventilplatte mit zehn über Funk fernbedienbaren Lufteinlaßventilen; unten rechts: Öffnung für das Ein- und Ausschleusen der Kühlfinger. Die Verkabelung zur Steuer- und Meßelektronik erfolgte im ICH-3.

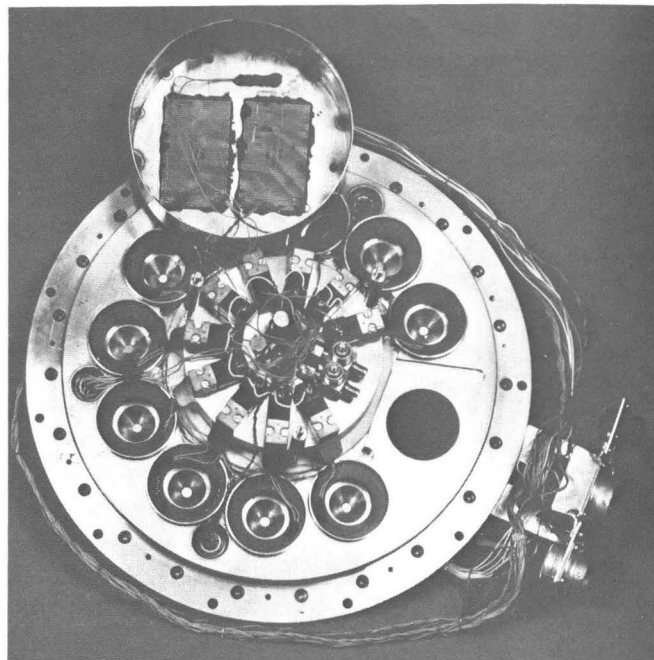


Bild 17
Innenansicht der Ventilplatte; sichtbar sind die zehn Düsenöffnungen für den Lufteinlaß sowie die vom ICH-3 ausgeführte Wasserversorgung zur Bildung der H₂O-Matrixstruktur an den Kühlfingern des Sammlers.

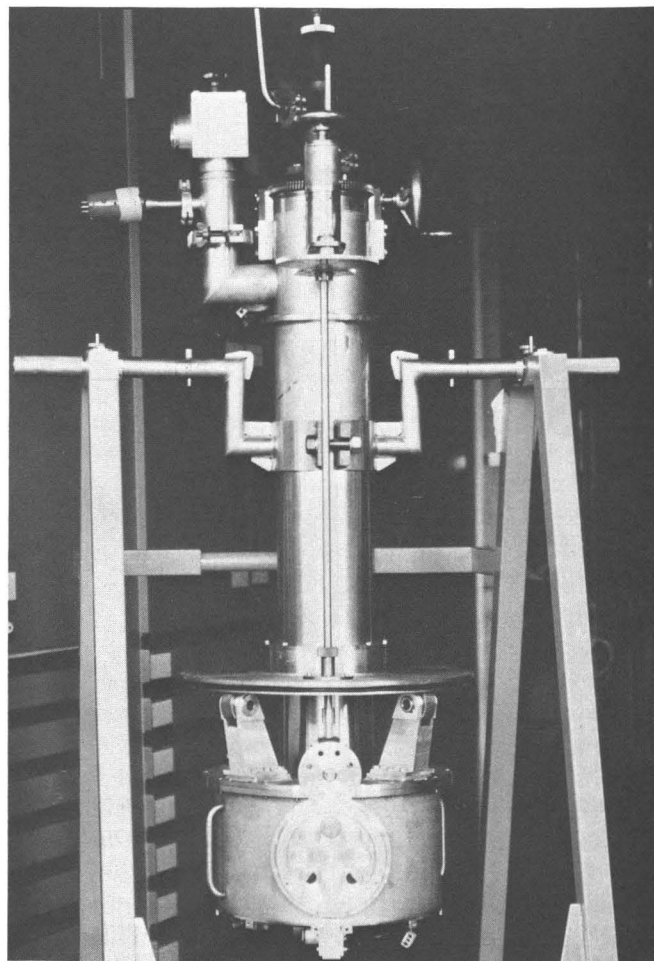


Bild 18
Flugzeug-Kryosammler (ICH-3), fertig montiert und vorbereitet für die Funktionsprüfung.

Nach der Bergung des Kryosammlers müssen die Luftproben in einen Transportkryostaten eingeschleust werden. Dies geschieht mit Hilfe von evakuierbaren, flüssiggasgekühlten Ein- und Ausschleusvorrichtungen, welche die kontaminationsfreie, temperaturkonstante Übernahme der Kühlfinger mit den daran kondensierten Luftproben zuverlässig ermöglichen. Die Ein- und Ausschleusöffnung des Ballon-Kryosammlers befindet sich unter einem Schutzdeckel und ist mit einem Blindflansch verschlossen. Nach Entfernen des Schutzdeckels wird an dessen Stelle eine ungekühlte Schleuse aufgesetzt, mit der der Blindflansch unter Vakuum entfernt wird. Weitere Einzelheiten sind zu Bild 22, Seite 26, beschrieben.

Flugzeug-Kryosammler (ICH-3)

Luftproben werden aus der Atmosphäre auch in mit Forschungsflugzeugen erreichbaren Höhen bis ca. 13 km an stickstoffgekühlten Oberflächen von Flugzeug-Kryosammlern (Bild 18) eingefroren und im Labor untersucht [6].

Der rechts in Bild 20 schematisch dargestellte Kryosammler ist dazu über eine Haltekonstruktion, die gleichzeitig die Kabinenabdichtung enthält, mit dem Rumpf des Flugzeuges verbunden. Im Flug, während der Aufnahme der Luftproben, ist der Sammler senkrecht nach unten aus dem Rumpf in die Sammelposition herausgefahren. Der Mindestabstand von etwa

150 mm von der Rumpfoberfläche ist notwendig, um eine Kontamination der Proben durch Verunreinigungen vom Flugzeug her zu vermeiden.

An den kalten Oberflächen der Kühlfinger (gelb) kondensiert Luft, die durch Düsen auf der drehbaren Düsenscheibe (Bild 19) in den evakuierten Sammelraum des Kryosammlers gelangt. Die Düsenscheibe wird mittels einer Handkurbel über ein Getriebe in die jeweils erforderliche Position gedreht (Bild 20, links).

Am stickstoffgekühlten Kryostateneinsatz (Bild 20, Mitte), der über ein weiteres Handrad und ein Getriebe um die vertikale Achse drehbar ist, befindet sich der mit Flüssigstickstoff gekühlte Probenträger mit acht Kühlfingern, so daß acht Luftproben pro Flug gesammelt werden können.

Schadstoffe der Atmosphäre müssen in ausreichender Konzentration für die Elektronen-Spin-Resonanz-Spektroskopie (ESR) gewonnen werden. Dazu ist eine Anreicherungsmethode erforderlich, welche die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Luftprobe nicht verändert. Geeignet dafür ist die Matrix-Isolationstechnik. Die Matrixstruktur wird durch einen an den Kühlfingern ausgefrorenen, inerten Matrixbildner, in diesem Fall gefrorener Wasserdampf, gebildet, der für eine ausreichende Trennung der in den Luftproben enthaltenen Radikale sorgt. Damit können dickere Schichten auf den Kühlfingern eingefroren werden. Wählt man dabei die Ausfrieretemperatur tief genug, dann wird die Diffusionsgeschwindigkeit der Radikale in der festen Matrix so weit verringert, daß die Proben über lange Zeit ohne wesentliche Abnahme ihrer Konzentration aufbewahrt werden können.

Der Kryosammler enthält dafür am beheizbaren Boden ein kleines Wasserreservoir. Mittels Temperatur- und Druckregelung verdampfen einstellbare, kleine Wassermengen. Der Wasserdampf gelangt durch einen scheibenförmigen Sinterkörper und Rohre zu einem zweiten, ringförmig um die Düsenöffnung angeordneten Sinterkörper. Werden die Düsen geöffnet, kondensiert mit den Luftproben gleichzeitig Wasserdampf an den Kühlfingern und bildet so die gewünschte Matrixstruktur.

Die Düsenöffnungen sind unterschiedlich groß, um bei mit zunehmender Flughöhe abnehmendem Luftdruck noch gleiche Probenmengen pro Zeiteinheit sammeln zu können.

Alle Manipulationen der Probensammlung können von der Flugzeugkabine aus vorgenommen werden. Der Kryosammler wurde entsprechend den luftfahrttechnischen Sicherheitsbedingungen ausgelegt und so konzipiert, daß er unterschiedlichen Beschleunigungen – in Flugrichtung bis 9 g – ausgesetzt werden kann.

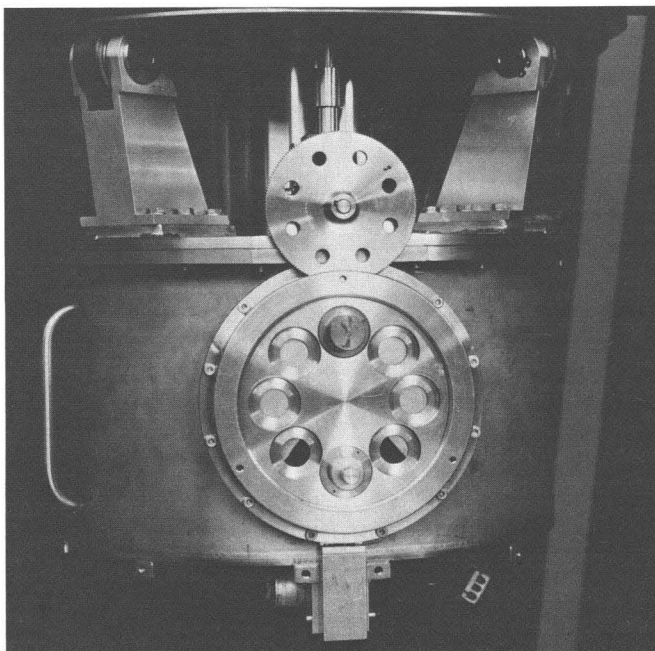


Bild 19
Düsenscheibe des Flugzeug-Kryosammlers mit Antriebszahnrad (oben) für die Positionierung der Düsenöffnungen. Die Düsenscheibe hat die Funktion eines Ventils: Dichtend im Ruhezustand, geöffnet während der Luftprobensammlung.

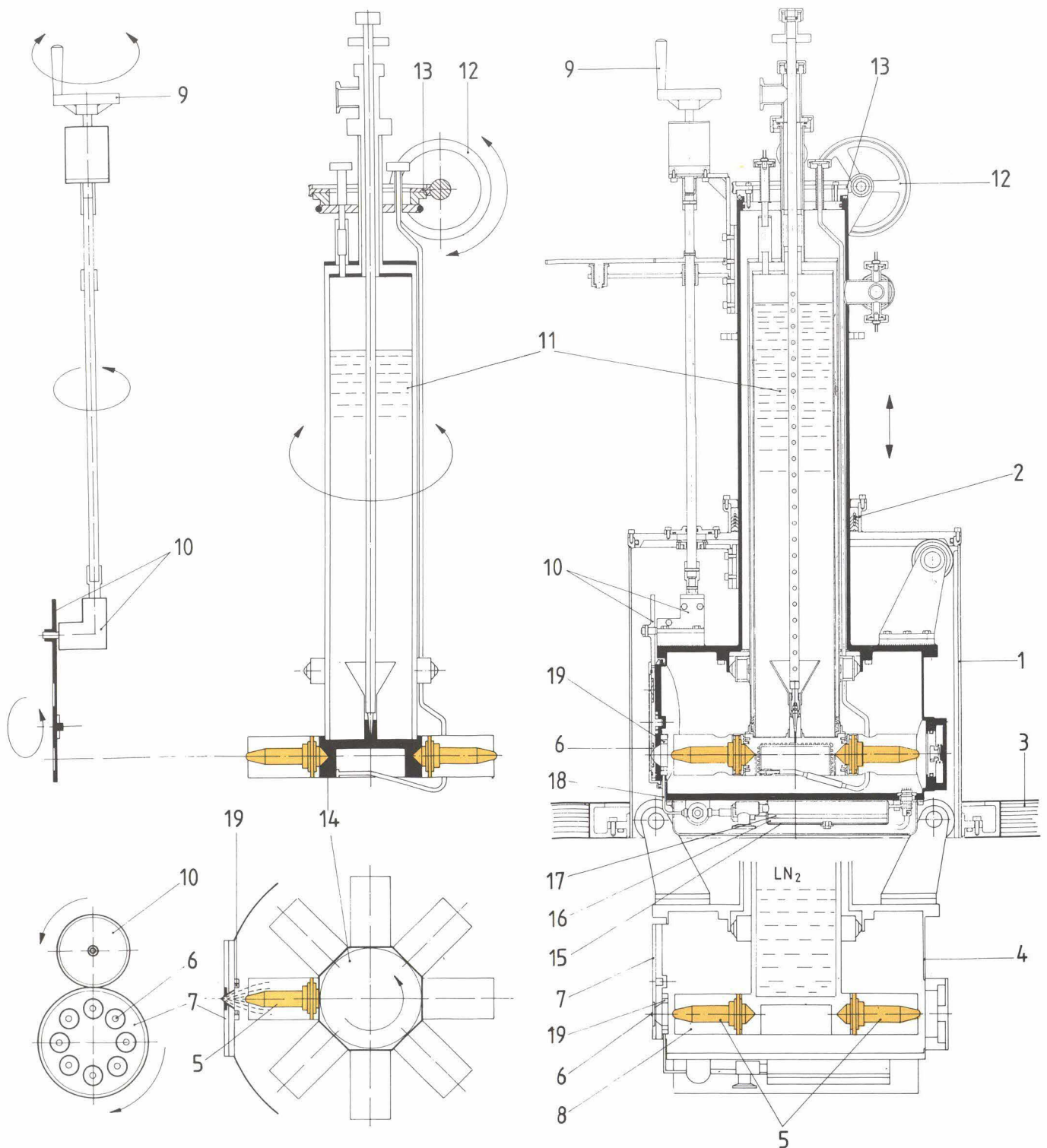


Bild 20

Mechanischer Aufbau des Flugzeug-Kryosammlers; Mitte: LN₂-gekühlter, drehbarer Kryostateneinsatz mit acht Kühlfingern für die Probenkondensation; links: Mechanik für die Drehung der Düsenscheibe während der Luftprobensammlung

- 1 Haltekonstruktion
- 2 Kabinenabdichtung
- 3 Flugzeugrumpf
- 4 Sammelposition
- 5 Kühlfinger (gelb)
- 6 Düse
- 7 Düsenscheibe

- 8 Sammelraum
- 9 Handkurbel
- 10 Getriebe
- 11 Kryostateneinsatz
- 12 Handrad
- 13 Getriebe
- 14 Probenträger

- 15 Beheizbarer Boden
- 16 Wasserreservoir
- 17 Scheibenförmiger Sinterkörper
- 18 Rohr
- 19 Ringförmiger Sinterkörper

Nach Abschluß der Luftprobensammlung müssen auch die mit dem Flugzeugsammler gewonnenen Proben in den Meßkryostaten des Labors gebracht werden. Umschleusverfahren, Transport und Handhabung sind nachfolgend kurz beschrieben.

Luftproben-Transport- und -Meßkryostaten (ICH-3)

Die Kühlkapazitäten des Ballon- und des Flugzeug-Kryosammlers (Bilder 14 und 18) sind unterschiedlich, aber so bemessen, daß die Kühlfunktion nach der Landung noch einige Stunden gewährleistet ist. Liegen längere Transportwege vor oder sollen mehr Proben gesammelt werden als mit einem Flug möglich, dann werden die mit Luftproben belegten Kühlfinger temperaturkonstant und kontaminationsfrei ausgewechselt und in Transportkryostaten aufbewahrt, bis sie in den Meßkryostaten im Labor gebracht werden.

Die Ein- und Ausschleusvorrichtungen sowie der Transport- und der Meßkryostat mit der zugehörigen Handhabungsmechanik sind schematisch in Bild 22 dargestellt. Für das Ein- und Ausschleusen der Proben sind eine ungekühlte (links oben) und eine gekühlte Schleuse (links unten) erforderlich. Die erste wird dazu benötigt, den nach Entfernen eines Schutzdeckels freiliegenden Blindflansch unter Vakuum zu entfernen. Sie besteht dazu aus einem an der Ventilplatte des Kryosammlers anschraubbaren Adapter, einem Schieberventil, einem evakuierbaren Zwischenstück sowie einer Hub-Drehdurchführung mit Hub-Drehspindel, mit der der Blindflansch aus der Ventilplatte herausgezogen wird. Wenn das Schieberventil geschlossen ist, kann der Blindflansch aus dem Zwischenstück entnommen werden.

Zum Ein- und Ausbau des Kühlfingers wird auf das Zwischenstück die gekühlte Schleuse montiert. Sie besteht aus dem evakuierbaren Rohr, dem mit Flüssigstickstoff gekühlten Probenhalter, der vakuumdichten Hub-Drehdurchführung, dem Schieberventil sowie der Hub-Drehspindel. Nach Evakuieren des Schleusenrohres, des Adapters und des Zwischenstückes sowie Abkühlung des Probenhalters werden beide Schieberventile geöffnet, und der Weg zu dem darüberliegenden Kühlfinger ist frei. Der Probenhalter wird von außen mit der Spindel über den Kühlfinger geschoben. Dabei rasten zwei Stifte in dafür vorgesehene Bohrungen am Fuß der Kühlfingers ein. Durch Drehung und Zug der Spindel wird der Kühlfinger abgeschraubt und in das Rohr gezogen. Danach werden die Schieberventile wieder geschlossen. Die Schleuse kann jetzt abgenommen und am Transport- und Meßkryostaten befestigt werden. Ein- und Ausschleusen des Kühlfingers erfolgt dort in gleicher Weise. Die übrigen Kühlfinger im Sammler sind durch Drehen der Ventilplatte erreichbar.

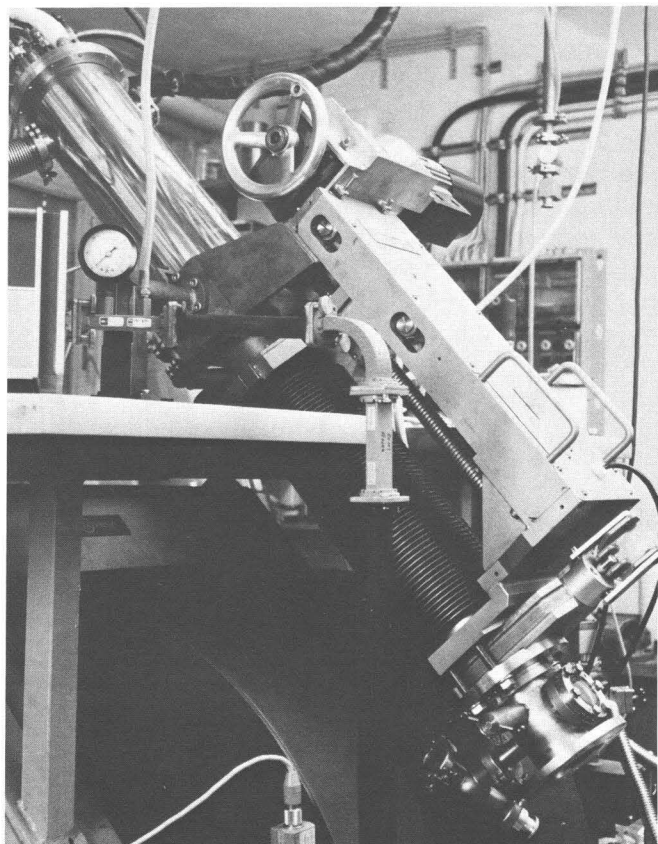


Bild 21

Handhabungsvorrichtung mit Luftproben-Meßkryostat, montiert am ESR-Meßplatz im ICH-3; links oben: Der Meßkryostat; rechts unten: Die Schleuse für den Anschluß des Quarz-Mantelrohres. Durch Zusammendrücken des Metallbalges wird das Quarz-Mantelrohr über den Kühlfinger im Meßkryostaten gezogen.

Der Transportkryostat (Bild 22, Mitte) besteht aus dem Mantelrohr, dem Flüssigstickstoffbehälter und dem Flüssigheliumbehälter. Zur Aufnahme der Kühlfinger dienen die Gewindestutzen am ringförmigen Probenhalter, der bis zu vierundzwanzig Proben aufnehmen kann. Er ist mit eingefrästen Kapillaren als Wärmetauscher ausgelegt und kann sowohl mit Flüssigstickstoff als auch mit Flüssighelium gekühlt werden. Die Temperatur des Probenhalters ist mittels Durchflußmengenregelung mit dem Kaltventil einstellbar [7].

Die Kühlfinger werden mit Hilfe der Schleuse durch das Schieberventil am Boden des Transportkryostaten geführt und in den Gewindestutzen des Probenhalters verschraubt. Da der gesamte Kryostateneinsatz mittels Radial- und Axialkugellagern drehbar gelagert ist, lassen sich alle Gewindestutzen im Probenhalter erreichen. Das Vakuum im Probenraum wird durch eine Sorptionspumpe aufrechterhalten. Da die Flüssiggasbehälter jederzeit nachfüllbar sind, ist die Aufbewahrungszeit der Proben praktisch unbegrenzt.

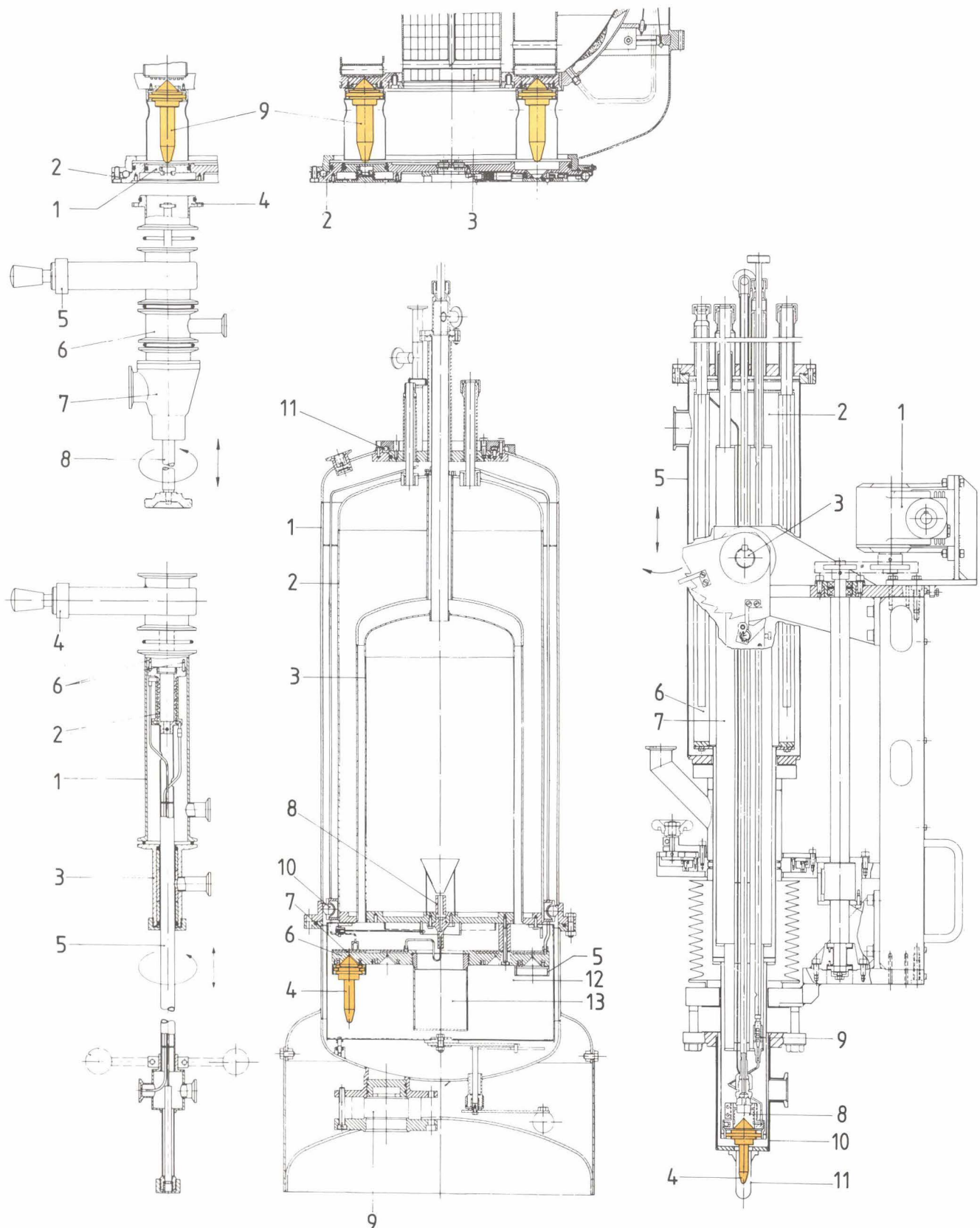


Bild 22

Kryostaten für die Luftprobenhandhabung; links: Ein- und Ausschleusvorrichtungen zur Übernahme der Kühlfinger aus dem darüber angedeuteten Ballon-Kryosammler; Mitte: Kryostat für den Probentransport vom Landplatz ins Labor des ICH-3; rechts: Meßkryostat in der Handhabungsvorrichtung

Ungekühlte Schleuse
(links oben)
1 Blindflansch
2 Ventilplatte
3 Kryosammler
4 Adapter
5 Schieberventil
6 Zwischenstück

7 Hub-Drehdurchführung
8 Hub-Drehspindel
9 Kühlfinger (gelb)

Gekühlte Schleuse
(links unten)
1 Rohr
2 Probenhalter

3 Hub-Drehdurchführung
4 Schieberventil
5 Hub-Drehspindel
6 Stifte

Transportkryostat (Mitte)
1 Mantelrohr
2 Flüssigstickstoffbehälter

3 Flüssigheliumbehälter
4 Kühlfinger (gelb)
5 Gewindestutzen
6 Probenhalter
7 Kühlkanäle
8 Kaltventil
9 Schieberventil
10 Radialkugellager

11 Axialkugellager
12 Probenraum
13 Sorptionspumpe

Meßkryostat (rechts)
1 Handhabungsvorrichtung
2 Meßkryostat
3 Querachse

4 Kühlfinger (gelb)
5 Vakuummantel
6 Flüssigstickstoffbehälter
7 Flüssigheliumbehälter
8 Probenhalter
9 Kaltventil
10 Mantelrohr
11 Quarzglasrohr

Die Untersuchung der Luftproben am ESR-Spektrometer erfolgt in einem Meßkryostaten, der in einer Handhabungsvorrichtung montiert ist. Sie ermöglicht Hub- und Dreh-Kippbewegungen des Meßkryostaten in der Querachse, um die am Kühlfinger kondensierten Luftproben an den Meßort zwischen den Magnetjochs des ESR-Spektrometers (Bild 21) zu bringen.

Der Meßkryostat (Bild 22, rechts) besteht aus einem Vakuummantel, einem Flüssigstickstoff- und einem Flüssigheliumbehälter. Er enthält einen als Wärmetauscher gestalteten Probenhalter, der den Kühlfinger aufnimmt. Dessen Temperatur ist mittels Durchflußmengenregelung mit dem Kaltventil einstellbar. Das Ein- und Ausschleusen der Kühlfinger erfolgt am Meßkryostaten in der bereits beschriebenen Weise mit Hilfe der Schleusenvorrichtungen.

Da die Luftproben während der Messung nicht von einem metallischen Vakuummantel umgeben sein dürfen, ist am unteren Ende des Mantelrohres ein vakuumdichtes Quarzglasrohr montiert. Nach der Installation des Kühlfingers mit der zu untersuchenden Luftprobe wird der gesamte Meßkryostat mit Hilfe der Handhabungsvorrichtung so weit auf der Längsachse nach unten verschoben, bis der Kühlfinger ganz von dem Quarzglasrohr umgeben ist. Danach wird das untere Ende des Meßkryostaten durch Drehung um die Querachse der Vorrichtung in die Meßposition des ESR-Spektrometers geschwenkt.

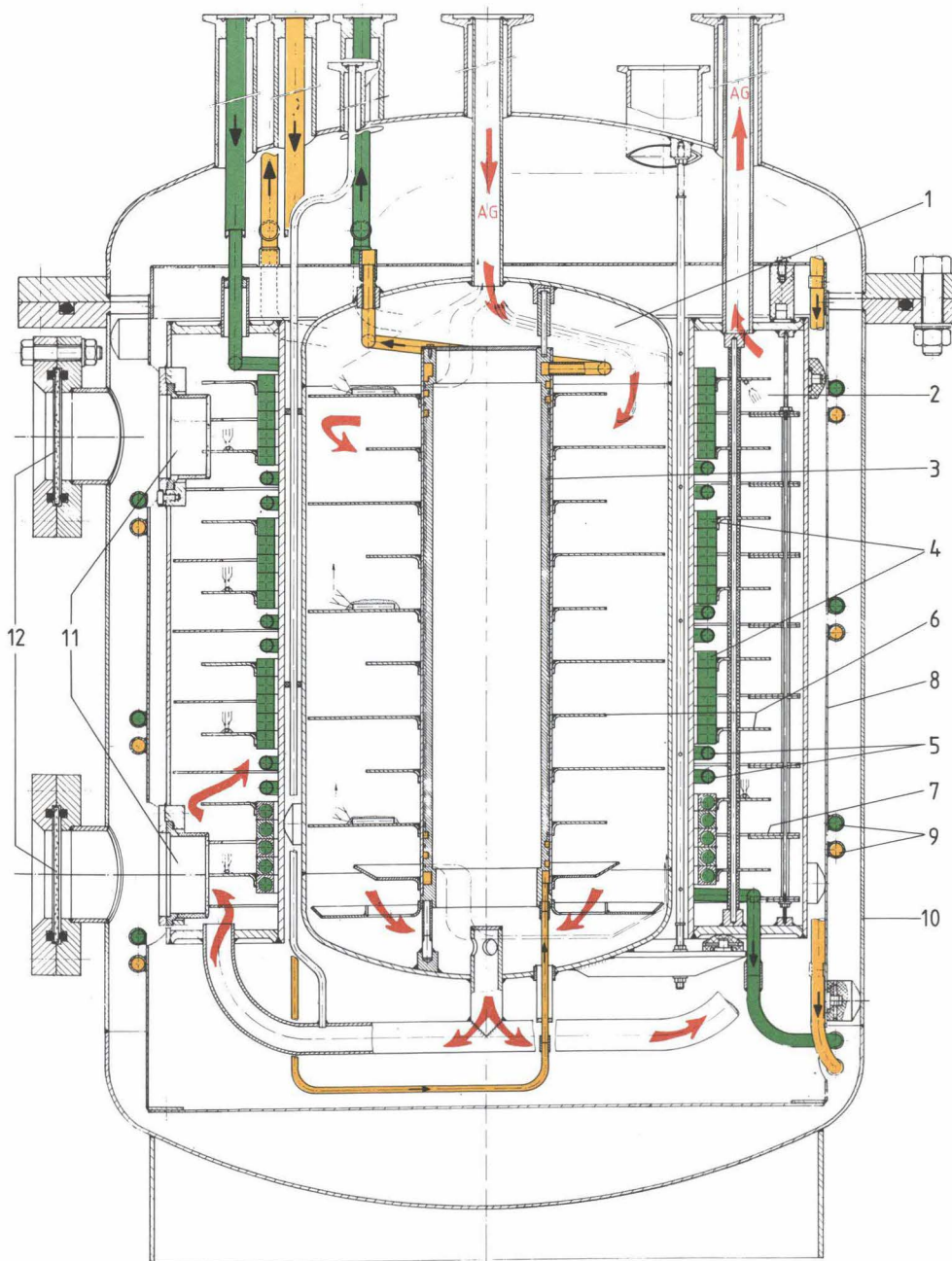


Bild 23
Konstruktiver Aufbau der Xe-Ausfrierfalle (ICT), nach dem Prinzip des Verdampferkryostaten, mit großen Kaltflächen und weiten Strömungskanälen im Vorkühl- und Ausfrierteil; Gegenstrom-Wärmeaustausch zwischen Arbeitsgas (AG, rote Pfeile) und Kühlmittel der inneren (gelb) und der äußeren (grün) Ausfrierstufe

- 1 Innere Ausfrierstufe
- 2 Äußere Ausfrierstufe
- 3 Kupferzylinder
- 4 Kühlsegmente
- 5 Edelstahlrohre
- 6 Gekühlte Kupferbleche
- 7 Ungekühlte Kupferbleche
- 8 Strahlungsschild
- 9 Kupferrohre
- 10 Vakuummantel
- 11 Schaugläser
- 12 Sichtfenster

Xenon-Ausfrierfalle (ICT)

Bei der Wiederaufbereitung von Kernbrennstoffen fallen inerte gasförmige, radioaktive Verunreinigungen wie Xe und ^{85}Kr an, die vom Auflöserabgas zu trennen sind. Dabei muß eine Ausfrierapparatur den Langzeitbetrieb – ohne die bisher beobachteten Betriebsstörungen durch Reif- und Schneebildung in ring- oder rohrförmigen Leitungen – ermöglichen und die vollständige Rückhaltung der Gasverunreinigungen bis auf die jeweilige Sättigungskonzentration gewährleisten.

Das aus diesen Forderungen zusammen mit dem ICT entwickelte Grundkonzept der neuen Ausfrierfalle beinhaltet

- die Anordnung einer großen Kaltfläche in weiträumigen Kühlkanälen,
- geringe Strömungsgeschwindigkeit des Gasgemisches und Abkühlung auf einstellbare Wandtemperaturen,
- gelenkte Reifbildung und gleichmäßige Verteilung der Reifschicht auf den Kaltflächen,
- wirksame Rückhaltevorrichtungen für Reif, Schnee oder andere Schwebeteilchen aus engen Leitungen und Öffnungen.

Die Realisierung dieses für Vorversuche mit Xenon-Stickstoffgemischen entwickelten Konzepts beruht auf dem Prinzip des Verdampferkryostaten. Die Xe-Ausfrierfalle (Bild 23) ist bei einer Gaseintrittstemperatur von 120 K für Gasdurchsätze von max. 10 m³/h, Drücke bis 8 bar und Gegenstromkühlung mit flüssigem Stickstoff ausgelegt, d.h. Kühlmittel (gelb und grün) und Gasgemisch (rote Pfeile) strömen in entgegengesetzter Richtung [8,9,10].

Als Verdampfer dienen zwei hintereinandergeschaltete und konzentrisch angeordnete Ausfrierstufen, die unabhängig voneinander mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden. Die innere Stufe besteht aus zwei aufeinandergeschraubten Kupferzylindern. In der Oberfläche des inneren Zylinders befinden sich zwei wendelförmige Nuten, von denen eine als Leitung für das Kühlmittel (gelb) dient, in die andere ist ein Mantelheizleiter für die Temperatureinstellung und -regelung eingelötet.

Die ringförmige äußere Stufe ist aus Kühlsegmenten mit aufeinandergelöteten Quadratrohren aus Kupfer aufgebaut, die durch schlecht wärmeleitende Edelstahlrohre verbunden sind. Auf die Außenfläche der Kühlsegmente sind Mantelheizleiter gelötet, damit die vom Kühlmittel (grün) aufgeprägte Temperatur variiert werden kann.

An beide Kühlstufen sind senkrecht zur Arbeitsgasströmung (AG) Kupferbleche als Kaltflächen mit einer Gesamtfläche von 1,3 m² gelötet. Sie sind in der inneren Stufe als Ring mit abgeschnittenem Kreissegment gestaltet und fortlaufend um 180° gegeneinander verdreht. Die beiden untersten Bleche dienen als Auffangschalen für lose Reifkristalle und Schwebeteilchen. Zwischen je zwei ringförmigen Kaltflächen der äußeren Stufe sind wiederum ringförmige ungekühlte Kupferbleche geschoben. Die Blechanordnung in beiden Stufen bewirkt eine fortlaufende Strömungsumlenkung und -durchmischung. Dadurch werden der notwendige Temperatenausgleich in einem Kühlkanal sowie der Stoff- und Wärmetransport zu den Kaltflächen begünstigt.

Die Einteilung der äußeren Stufe in Kühlsegmente mit getrennten Heizleitern erlaubt die Erzeugung eines gewünschten Temperaturprofils durch Regelung der Kühlmittelmenge und der Heizleistung, womit sich eine gleichmäßige Belegung der Cu-Bleche mit festem Xenon entsprechend der temperaturabhängigen Xe-Sättigungskonzentration einstellt.

Zur Temperaturmessung sind an den Kaltflächen PT-100-Temperaturfühler angebracht. Die kältesten Zonen liegen wegen der LN₂-Gegenstromkühlung jeweils am Ausgang beider Stufen.

Die beiden Ausfrierstufen sind von einem Strahlungsschild umgeben, der aus einem Kupfermantel mit aufgelöteten Kupferrohren besteht. Sie werden vom kalten Kühlmittelabgas der ersten und zweiten Kühlstufe

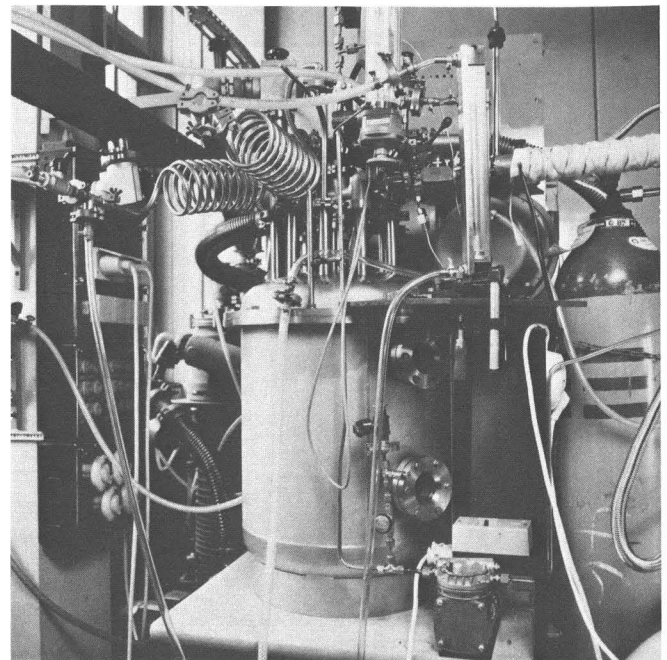


Bild 24
Versuchsaufbau der Xe-Ausfrierfalle (ICT): Kreisförmige Sichtfenster im Vakuummantel; rechts: Meß- und Regelelektronik; links: Flüssigstickstoffversorgung

durchströmt und reduzieren so die Kälteverluste durch Strahlung zwischen der äußeren Stufe und dem Vakuummantel.

In den Außenring der äußeren Stufe sind in Höhe des obersten und des untersten Kühlsegmentes zwei Schaugläser eingelassen. Durch gegenüberliegende Bohrungen im Strahlungsschild und Sichtfenster im Vakuummantel kann das Ausfrieren von Xenon in dieser Stufe beobachtet werden. Die Xe-Ausfrierfalle wurde mehrfach erprobt, wobei Reinheitsgrade des Stickstoffs von 99,998 Vol% erreicht worden sind (Bild 24).

$^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkryostat mit Metallaufdampf-Einsatz und supraleitendem Magneten (IFF)

Für Widerstandsmessungen an dünnen – bei 4 K unter UHV-Bedingungen aufgedampften – Metallfilmen in einem Magnetfeld bis 4 Tesla und bei Temperaturen um 50–60 mK wurde zusammen mit dem IFF ein besonderer Kryostat entwickelt und konstruiert, der dann größtenteils in der Institutswerkstatt des IFF hergestellt wurde.

$^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkryostaten (Dilution-Refrigerator) werden zur Erzeugung von Temperaturen unter 300 mK eingesetzt. Durch kontinuierliche Mischung und Entmischung von ^3He und ^4He in einem ^3He -Kreislauf wird eine Abkühlung der Mischkammer solange erreicht, bis die erzeugte Kälteleistung gleich den Kälteverlusten durch Wärmeeinfall ist.

Ein Gemisch aus flüssigem ^3He und superfluidem ^4He weist bei Erniedrigung des Dampfdruckes durch Abpumpungen von ^3He im Temperaturbereich unter 860 mK zwei getrennte Phasen auf: Leichteres, konzentriertes ^3He oberhalb der $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischung (Bild 25, Schema) in der Mischkammer. Für den Effekt der Kälteerzeugung ist dabei entscheidend, daß bei gleicher Temperatur die molare spezifische Wärme einer $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischung größer ist als die von reinem ^3He . Im Mischkryostat wird diese Eigenschaft genutzt, indem gasförmiges ^3He aus dem verdünnten $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Gemisch in der Destillierkammer abgesaugt und der konzentrierten Phase in der Mischkammer wieder zugeführt wird. Aus Gründen des Phasengleichgewichts erfolgt dann dort der Übergang des leichteren ^3He in das $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Gemisch, das sich dabei abkühlt. Die in der Praxis erzielbare tiefste Temperatur hängt bei diesem Prozeß von der Güte der Konstruktion und der Fertigung ab, insbesondere jedoch von der Art der Wärmetauscher und von deren Qualität [11].

Der in Bild 26 dargestellte Kryostat besteht aus mehreren, konzentrisch angeordneten Baugruppen, wie dem Flüssigstickstofftank mit umgebendem Vakuum-

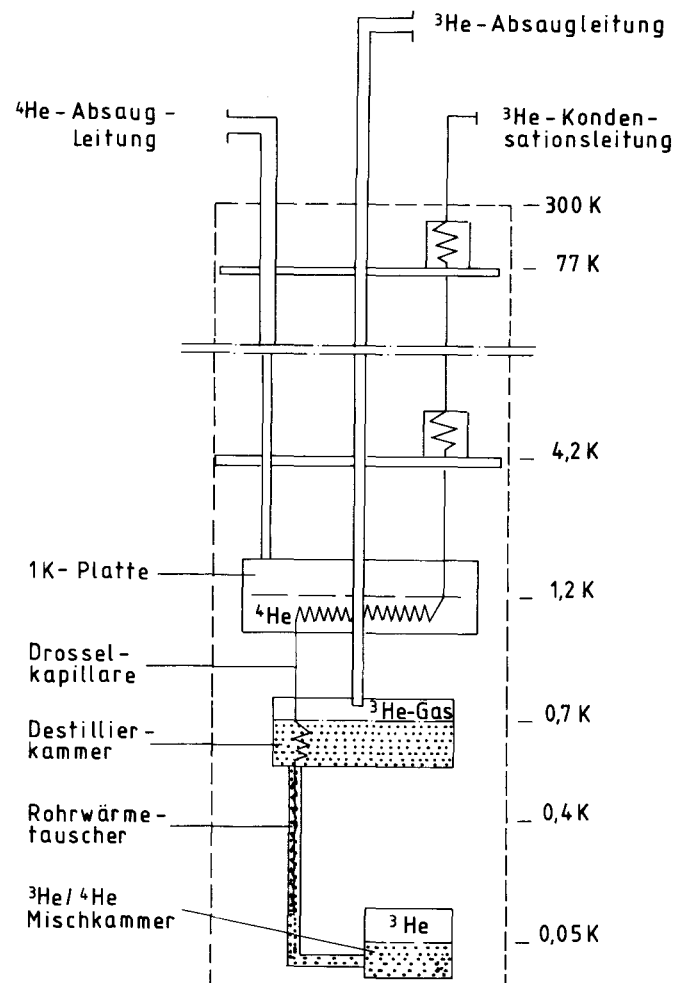


Bild 25

$^3\text{He}/^4\text{He}$ -Kreislauf; Schema des kalten Teiles mit den zugehörigen Temperatur- und Vorkühlstufen; punktiert: $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Gemisch.

mantel und der aus reflektierenden Folien bestehenden Superisolation, dem ^4He -Tank mit darin montierter Magnetspule des unter 5 K supraleitenden Magneten, dem $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkryostateneinsatz (blau) und dem Metallaufdampf-Einsatz.

Alle Zwischenräume der Baugruppen sind aus Isolationsgründen evakuiert. Thermisch sind die Baugruppen untereinander jedoch derart gekoppelt, daß diskrete Zwischenkühlstufen entstehen, um den Wärmeeinfall weitestgehend zu verhindern. Dies ist besonders wichtig für den kalten Teil des ^3He -Kreislaufs, der einen effektiven Wärmeaustausch auf den in Bild 25 angegebenen Temperaturstufen erfordert.

Der Probenhalter ist mechanisch und thermisch mit der Mischkammer verbunden. Zur Herstellung des zu untersuchenden Metallfilms werden Metallproben im Widerstandsofen des Aufdampfeinsatzes verdampft und bei 4 K auf dem Probenhalter kondensiert. Mit Hilfe der Aufdampfklappen und eines Meßquarzes wird die Aufdampfrate eingestellt und gemessen. Ist die gewünschte Schichtdicke erreicht, werden die

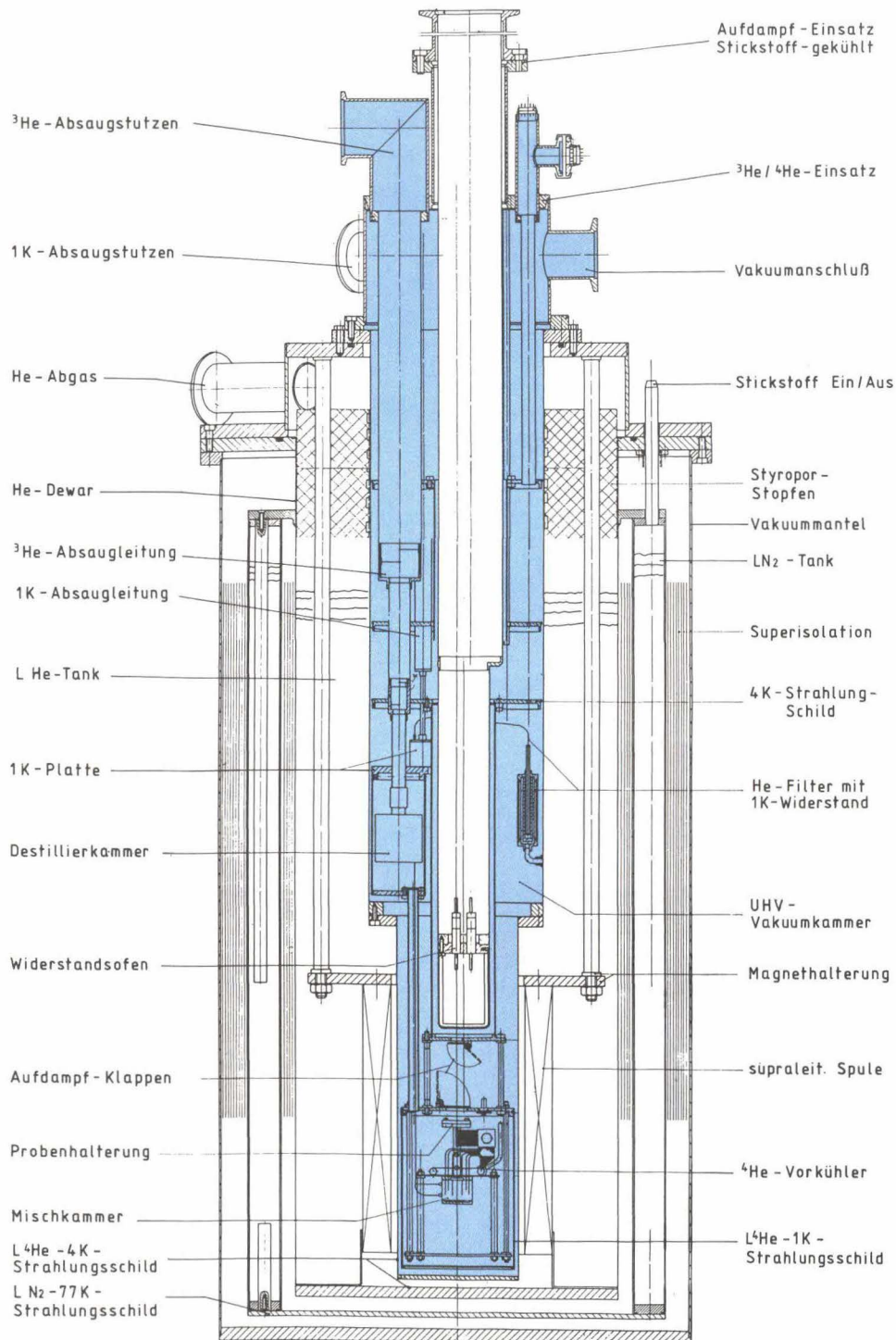


Bild 26

$^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkryostat mit Metallaufdampfeinsatz und supraleitender Spule (IFF); schematischer Aufbau des Kryostaten mit Vakuummantel, Flüssigstickstoff- und Flüssigheliumbehälter sowie dazwischen installierter Superisolation; die supraleitende Magnetspule ist in den Heliumtank integriert, konzentrisch dazu der $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkryostateneinsatz (blau) mit dem Metallaufdampfeinsatz.

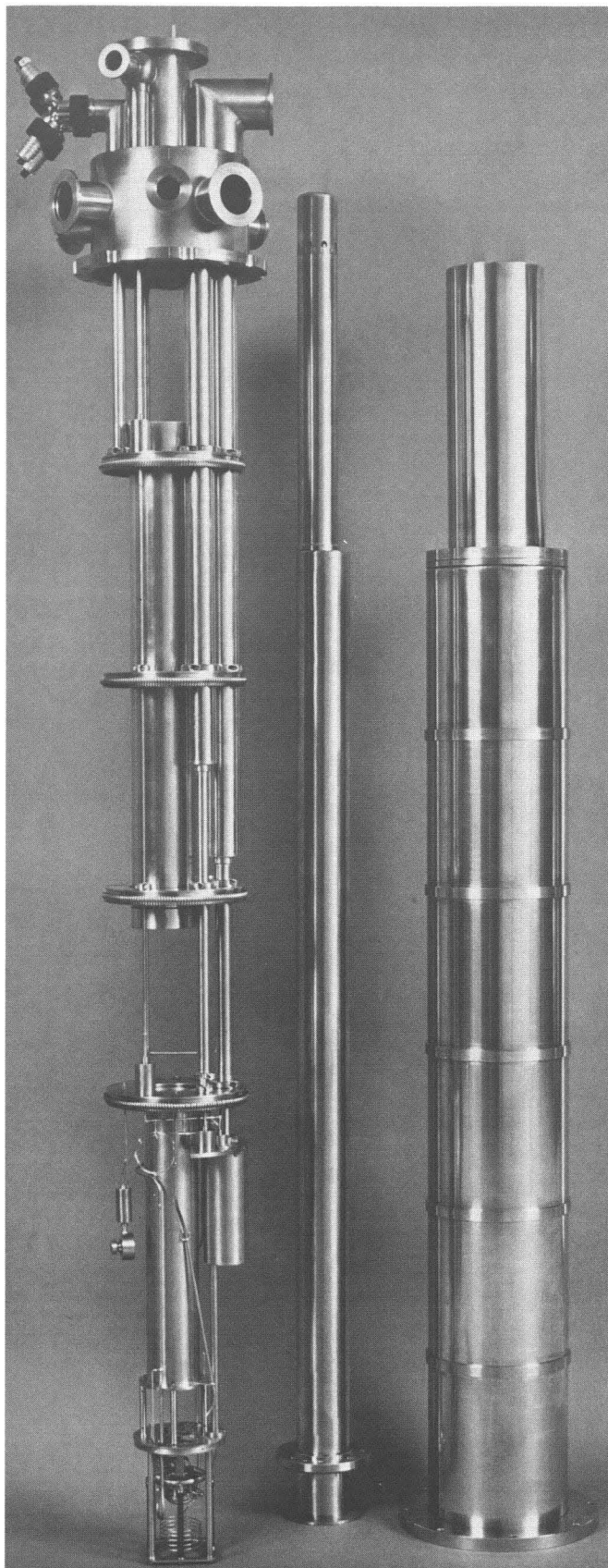


Bild 27

³He/⁴He-Mischkryostateneinsatz (links) mit Mischkammer (unten) und Destillierkammer seitlich rechts darüber; Bildmitte: Metallaufdampfeinsatz; rechts davon: 4K-Strahlungsschild bzw. Vakuummantel des Mischkryostateneinsatzes

Aufdampfklappen geschlossen und der ³He/⁴He-Mischkryostat durch Abpumpen von ⁴He aus dem He-Tank sowie mittels ⁴He-Vorkühler an der Mischkammer auf 1,2 K abgekühlt. Danach kann die weitere Temperaturabsenkung auf 50–60 mK durch Ingangsetzen des ³He-Kreislaufs erfolgen.

Zur Vermeidung von Wirbelströmen bei Magnetfeldänderungen und damit verbundener Energieabsorption sind schlecht wärmeleitende Werkstoffe mit möglichst kleinen Querschnitten verwendet worden (Bild 27). Die Mischkammer, die Probenhaltereinheit und der ⁴He-Vorkühler bestehen aus CuNi 70/30. Besonders aufwendig ist die thermische Kontaktierung von Probenhalter und Vorkühler an der Mischkammer. Sie erfordert weitreichende Erfahrung auf dem Gebiet der Vakuum- und Kryotechnik.

Röntgen-Kleinwinkel-Streuapparatur (IFF)

Die in der Herstellung befindliche Kleinwinkel-Streuapparatur (KWS) wird an der Synchrotronstrahlungsquelle DORIS am DESY (HASYLAB) in Hamburg eingebaut. Mit ihr sollen metallphysikalische Untersuchungen wie kurzreichweitige Dichteinhomogenitäten (0,5 – 20 nm) und Fluktuationen der chemischen Zusammensetzung in kleinen Proben (typisch 1,0 x 1,0 x 0,05 mm³) mit der Kontrastvariationsmethode erforscht werden. Die KWS (Bild 28) wird außer der KFA auch einem größeren Nutzerkreis zur Verfügung stehen.

Im Doppelmonochromator (1) wird die Röntgenenergie durch rechnergesteuerte Dreh- und Translationsbewegungen der beiden Monochromatorkristalle (2) eingestellt. Die Feineinstellung der Reflexionswinkel erfolgt mittels piezoelektrischer Translatoren. Der monochromatisierte und fokussierte Röntgenstrahl trifft in der auf einen Druck von 10⁻⁶ mbar evakuierten Probenkammer (15) auf die Probe (3), wird dort gestreut und mittels eines großflächigen Detektors (4) mit einer Zählfläche von 200 x 200 mm² ausgemessen.

Der Doppelmonochromator besteht aus dem bis 5 x 10⁻⁵ mbar evakuierten bzw. mit Helium gefüllten Monochromatorgehäuse (5), in dem auf einer Konsole (6) und optischen Bänken (14) Kristallverstellvorrichtungen (7) sowie Strahldiagnostikbauteile (8) montiert sind. Das Monochromatorgehäuse (5) ist auf einem höhenjustierbaren Gestell (9) montiert. Die Gehäuse-Vorderwand (10) kann für Montage- und Servicearbeiten mit Hilfe eines elektrischen Hubtriebes (11) und Linearführungen (12) vertikal angehoben und abgesenkt werden. Die mit einem Fenster versehene Tür (13) ermöglicht ein schnelles Austauschen der Monochromatorkristalle (2).

In der am Gestell (16) angeflanschten Probenkammer (15) ist eine justierbare Lochplatte (17) für den reproduzierbaren Ein- und Ausbau der Probenhalter (18)

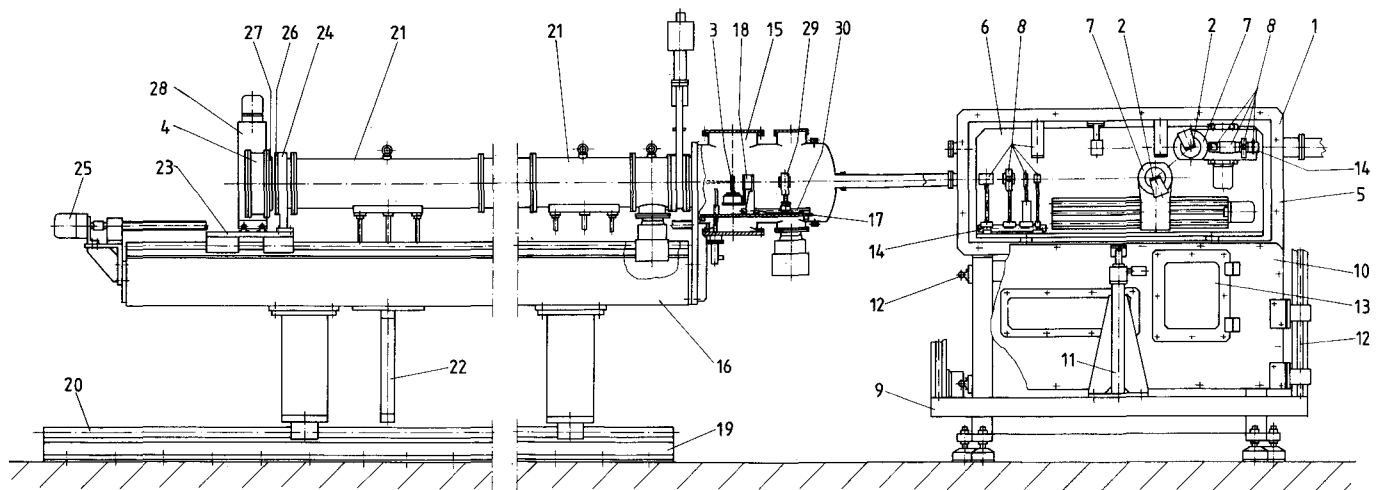


Bild 28

Röntgen-Kleinwinkel-Streuapparat (IFF) für metallphysikalische Untersuchungen am DESY (HASYLAB)

montiert. Diese Einzel- und Mehrfachprobenhalter ermöglichen Kippungen, Drehungen und translatorische Bewegungen der Proben; sie werden von Schrittmotoren angetrieben. Eine Viersektorenblende (29) ist auf einer optischen Bank (30) justiert. Mit dem Gestell (16) werden unterschiedliche Abstände zwischen Probe (3) und Doppelmonochromator (1) sowie der Abstand zwischen Probe (3) und Detektor (4) reproduzierbar eingestellt. Es ruht auf justierbaren Schienen. Mittels Linearführungen (20) läßt sich eine Einstellgenauigkeit von $\pm 0,1$ mm erzielen.

Der Abstand zwischen Probe (3) und Detektor (4) ist durch automatischen Austausch der unterschiedlich langen Strahlrohre (21) veränderbar. Sie ruhen auf pneumatisch angetriebenen Hubvorrichtungen (22) und können in Strahlrichtung verschoben werden. Der Detektorwagen (23), auf dem das Strahlrohrendstück (24) und der Detektor (4) montiert sind, wird mit einem elektromotorischen Antriebssystem (25) verfahren. Am Strahlrohrende befindet sich ein Fenster (26) mit 250 mm \varnothing aus einer 25 μ m dicken Kaptonfolie, die durch ein Edelstahlgewebe gestützt wird, während sich am Detektor (4) ein Beryllium-Fenster (27) mit einer Dicke von 400 μ m befindet. Der Detektor ist auf einem schrittmotorgetriebenen Kreuzschlitten (28) montiert. Die KWS ist etwa 7,5 m lang.

ALMAH, Apparatur für Laserspektroskopie (IFF)

Das Verständnis physikalischer Vorgänge an Metall-Halbleiter-Grenzflächen und Technologien zur Herstellung dünner Metall-Halbleiter-Schichten sind von wachsender Bedeutung für die Entwicklung immer kleinerer und leistungsfähiger Halbleiter-Bauelemente. Derartigen Experimenten soll die Apparatur für Laserspektroskopie an epitaktisch aufgedampften Metallschichten auf Halbleitersubstraten (ALMAH) dienen. Mittels Ramanstreuung und Lumineszenz-

spektroskopie werden dabei durch Laserstrahlen erzeugte Elementaranregungen an Grenzflächen gemessen. An der Grenzfläche spalten elektronische Bänder in Subbänder auf, zwischen denen optische Übergänge möglich sind. Diese Übergänge können mittels Ramanstreuung und Absorption von Laserlicht angeregt werden. Im Magnetfeld spalten die Subbänder in Feinstrukturen auf.

Die ALMAH (Bild 29) soll sowohl die Probenpräparation als auch die laserspektroskopische Probenbestrahlung und -messung ermöglichen. Dazu werden etwa $1 \times 1 \times 1$ cm³ große Kristallwürfel oder 1×1 cm² große Kristallplatten aus Halbleiterwerkstoffen wie GaAs oder InSb durch ein Fenster in die Spaltkammer der Apparatur gebracht und an einem Probenhalter befestigt. Die Spaltkammer wird evakuiert und ausgeheizt, bis ein Ultrahochvakuum von etwa 10^{-11} mbar erreicht ist. Eine von Fremdatomen freie Kristalloberfläche entsteht hier durch mechanisches Spalten der Kristalle an einer Gitterebene. Die Probe muß deshalb mit dem senkrecht angeordneten Hub-Dreh-Manipulator zwischen Spaltkeile gebracht werden, die von außen mittels Druckschrauben zu betätigen sind.

Das Aufdampfen der 10 Å bis 1000 Å dicken, monokristallinen Metallschichten erfolgt unter UHV bei einem Druck von 10^{-10} mbar in der Präparationskammer, in die eine gespaltene Halbleiterprobe mit dem senkrechten Hub-Dreh-Manipulator durch ein UHV-Schieberventil gefahren und an dem gekühlten Probenhalter eines horizontalen Hub-Dreh-Manipulators befestigt wird. Die Präparationskammer enthält alles für die Probenpräparation und für das Aufdampfen erforderliche Zubehör wie die Sputtereinrichtung zum weiteren Reinigen der Probenoberflächen, die Knudsenzelle, Elektronenstrahlverdampfer mit drei Schmelztiegeln zum Erhitzen und Verdampfen der Metalle. Außerdem sind in dieser Kammer ein Schwingkristall zur Messung der Schichtdickenzunahme, Druckmeßgeräte und Sichtfenster zur Kon-

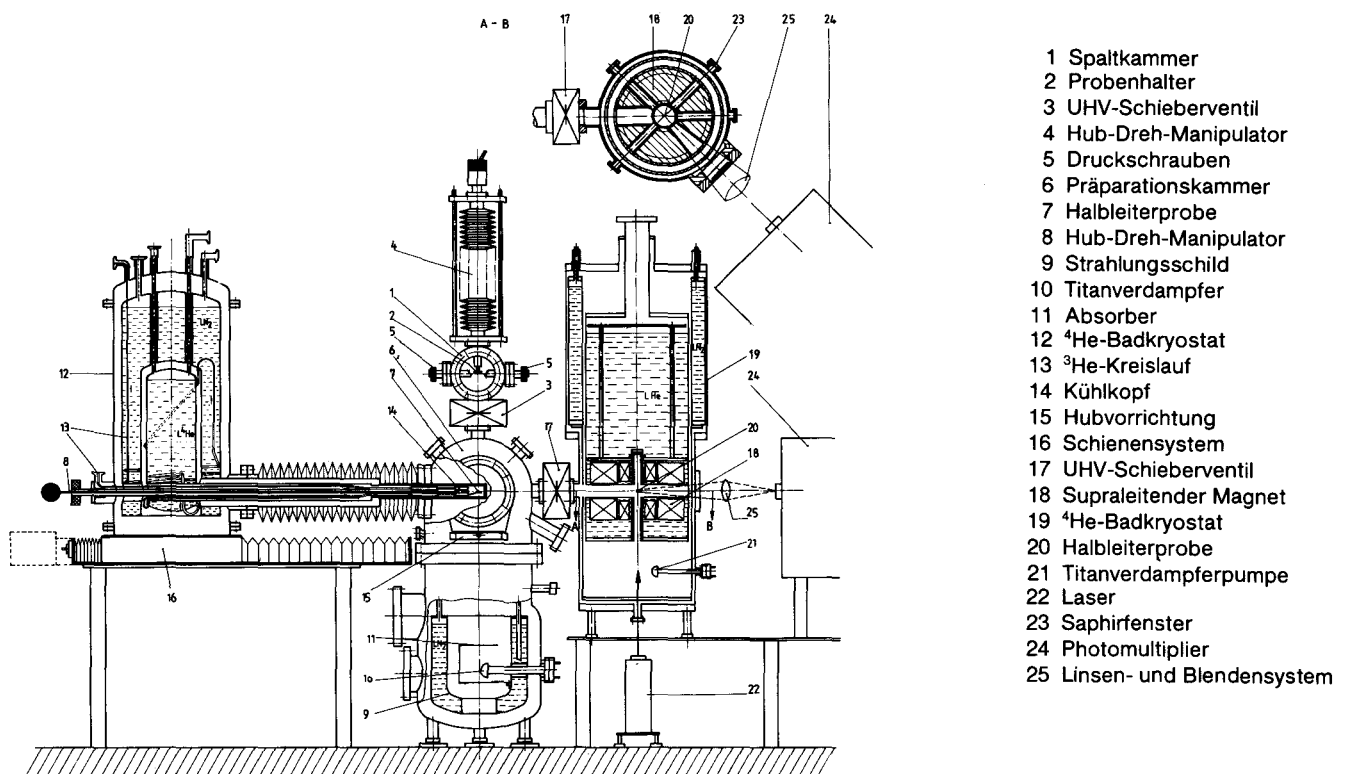


Bild 29

ALMAH, Apparatur für Laserspektroskopie an epitaktisch aufgedampften Metallschichten (IFF); technisches Konzept

trolle der Probenpräparation angebracht. Das erforderliche Ultrahochvakuum wird mit einer Turbomolekularpumpe und einer Titanverdampferpumpe erzeugt, die von einem flüssigstickstoffgekühlten Strahlungsschild umgeben ist und aus dem Titanverdampfer mit gekühltem Absorber besteht.

Um ein Verschmieren der Feinstrukturen durch thermische Effekte zu vermeiden, ist eine Probenkühlung auf Temperaturen unter 1 K erforderlich. Dazu dient ein ^4He -Badkryostat, in den ein ^3He -Kreislau mit Joule-Thompson-Ventil zur Temperaturabsenkung von etwa 4 K auf unter 1 K integriert ist. Der ^3He -Kreislau ist mit dem Kühkopf des horizontalen Hub-Dreh-Manipulators verbunden. Nach Abschluß des Aufdampfvorganges werden Oberflächen- und Strukturanalysen der Metallschichten mittels LEED- und AUGER-Spektroskopie durchgeführt, deren Instrumente mit einer Hubvorrichtung an die metallbeschichtete Probenoberfläche herangefahren werden. Der horizontale Hub-Dreh-Manipulator ermöglicht es, die Probe dabei um 135° zu drehen und um $\pm 45^\circ$ zu kippen.

Zur Laserspektroskopischen Untersuchung von Grenzflächenphänomenen – z.B. des Elektronentransports durch die Grenzfläche zwischen aufgedampfter Metallschicht und Halbleiteroberfläche – wird die in höchster Reinheit hergestellte und exakt

analysierte Probe mitsamt Kühleinrichtung auf einem horizontalen Schienensystem durch ein UHV-Schieberventil an den Bestrahlungsort im supraleitenden Magneten verfahren. Der Magnet in Helmholtz-anordnung (split-pair-Magnet) ist für 10 Tesla bei 4,2 K mit einem Abstand (Split) der beiden übereinander angeordneten Ringpulen von 40 mm konzipiert und in einem ^4He -Badkryostaten mit Flüssigstickstoffvorkühlung integriert. Im Probenbereich ist ein Ultrahochvakuum von etwa 10^{-11} mbar erforderlich, das mit einer gekühlten Titanverdampferpumpe erzeugt wird.

Um eine vollständige Analyse der Elementaranregungen bezüglich der Magnetfeldachse machen zu können, muß die Probe auch von unten mit einem Laserstrahl parallel zur Magnetfeldachse bestrahlt werden können. Die optische Achse liegt jedoch horizontal in Magnetmitte (Detailansicht A). Der in Kombination mehrerer Laser erzeugte und verstärkte, in einem Polarisator – hinsichtlich Schwingungsebene und Spin – polarisierte Laserstrahl trifft durch ein Saphirfenster des Kryostaten auf die Probe. Das dabei unter Energie- und Frequenzverschiebung (Ramanstreuung) gestreute Laserlicht bzw. die durch Energieabsorption angeregte und emittierte Lichtstrahlung (Lumineszenz) wird dann monochromatisiert und in einem Photomultiplier analysiert, dem ein Linsen- und Blendsystem vorgeschaltet ist.

Die Experimentiereinrichtung ALMAH ist mit ihren vielseitigen kryo-, UHV-, feinwerk- und spektrometer-technischen Erfordernissen und Verfahrensabläufen gegenwärtig das Ergebnis einer Projektstudie zur Funktionsfindung und Prinzipiarbeit, die in enger Zusammenarbeit zwischen IFF und TD-MW/E durchgeführt wurde.

UHV-Manipulator mit sechs Freiheitsgraden (IGV)

Der für die Probenhalterung und -justierung in der Molekularstrahlapparatur (Bild 1, Seite 13) des IGV entwickelte und gebaute UHV-Manipulator (Bild 30) ist ein komplexes Handhabungsgerät mit sehr hohen feinmechanischen Anforderungen, da die Reproduzierbarkeit der geometrischen Probenoberflächen-Position die Reflexionsbedingungen des einfallenden und des reflektierten Molekularstrahls (M1 und M2) und damit die Meßgenauigkeit der Apparatur beeinflußt [1].

Die Größe des Raumes, in dem die Probe positioniert wird, ist durch die translatorischen Wege in der x-y-Ebene mit je 25 mm und in der z-Achse mit 200 mm begrenzt, wobei die Positionierung in der x- und y-Achse mit einer Toleranz von $\pm 0,01$ mm und in der z-Achse von $\pm 0,1$ mm erfolgen soll. Am Getriebekopf (1) des Manipulators sind dafür ein Kreuzschlitten mit Ober- (2) und Unterschlitten (3) montiert, die mittels Meßschrauben (4, 5) bewegt und feinjustiert werden. Der seitliche Bewegungsausgleich und die vakuumdichte Durchführung der unteren, an einem Tragrohr (6) hängenden Manipulormechanik (7) erfolgen durch den Metallbalg (8). Um den Hub in der z-Achse zu ermöglichen, ist der UHV-Manipulator auf einer Hubvorrichtung (Bild 31 und Bild 4, Seite 15) montiert, die auf dem Deckelflansch der Molekularstrahlapparatur befestigt ist.

Die rotatorischen Bewegungen um die x-, y- und z-Achse mit $C=180^\circ$, $B=90^\circ$, $A=270^\circ$ sind mit $\pm 0,1^\circ$ Positioniergenauigkeit einstellbar und werden mit UHV-Drehdurchführungen (9, 10, 11) am Getriebekopf (1) erzeugt. Für die Drehmomentübertragung sind Kegelradgetriebe (12, 13, 14) sowie Antriebs- und Umlenkrollen sowohl im Getriebekopf (15, 16, 17, 18) als auch in der unteren Manipulormechanik (19, 20, 21, 28, 29) vorgesehen, wobei die Kraftübertragung mit über diese Rollen laufenden feinen Stahlseilen (23) erfolgt. Die Viergelenkkette (24, 25 und Bild 32), die den Probenhalter (26) trägt, ist über die oberen Gelenkglieder (25) fest mit der Achse des Antriebsrades (19) verbunden. Aufgrund der Kinematik der Viergelenkkette wird die Rotation B des Probenhalters (26) genau in der Ebene der parallelen Achsen der Antriebsräder (19) und (16) um den Betrag erzeugt, um den das Antriebsrad (19) mit der UHV-Drehdurchführung (10) verstellt wird.

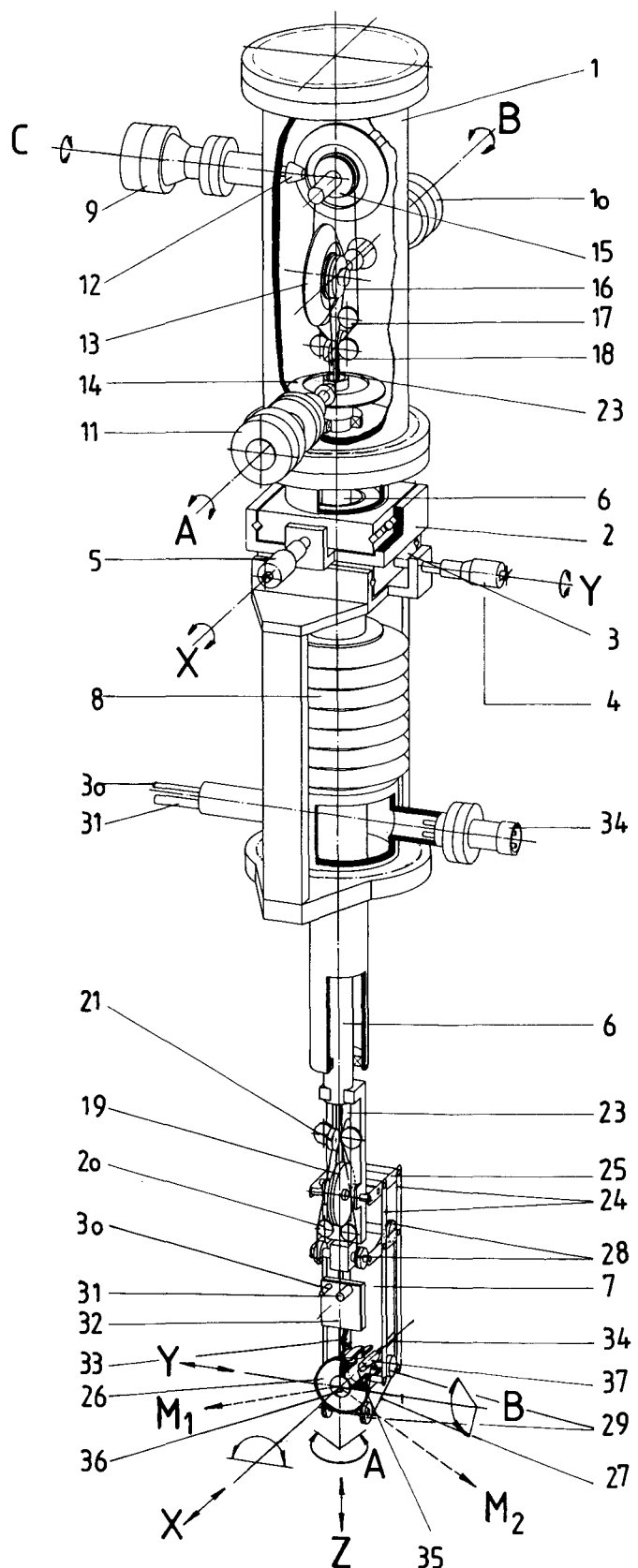


Bild 30
UHV-Manipulator für die Molekularstrahlapparatur des IGV; konstruktiver Aufbau des Manipulators mit sechs Freiheitsgraden für die Probenhandhabung und -justierung

Die Rotation C um die x-Achse wird durch Drehung der UHV-Drehdurchführung (9) über Kegeltrieb (12) und die Antriebsrollen (15) erzeugt. Da das über diese Rollen laufende Feinseil (27) sowohl über die Umlenkrollen (28) und (29) in der Viergelenkkette (24) als auch über den Probenhalter (26) geführt wird, dreht sich der Probenhalter (26) um den gleichen Betrag wie das Antriebsrad (15).

Die Rotation A um die z-Achse wird durch Drehung des Tragrohres (6) mittels UHV-Drehdurchführung (11) und Kegelradgetriebe (14) erzeugt. Entscheidender Vorteil der Verwendung feiner Stahlseile im Vergleich zu einer an sich möglichen starren Getriebebelösung ist, daß bei der Rotation A um die z-Achse und der dabei unvermeidlichen Verdrehung der unteren Manipulormechanik (7) gegenüber dem Getriebekopf (1) in keiner der drei Rotationsachsen eine Relativrotation auf den Probenhalter (26) übertragen wird, da die Seile die Verdrehung und die Längenänderungen elastisch aufnehmen.

Die konstruktive Lösung der Manipulorkinematik stellt sicher, daß der Schnittpunkt der Translations- und der Rotationsachsen auf der Probenoberfläche (36) liegt. Der gesamte Manipulator ist ausheizbar bis 250°C. Die Probe (36) kann außerdem mittels Flüssigstickstoff über Zu- und Rückführleitungen (30, 31) mit Wärmetauscher (32) und wärmeleitendem Silberdrahtgeflecht (33) auf unter 100 K abgekühlt werden. Mittels Stromzuführung (34) und Tantalwendel (35) im Wehneltzylinder (37) ist die Probe durch Wärmeleitung und Elektronenbeschuß bis auf 1000 K aufheizbar. Bild 33 zeigt den UHV-Manipulator während der Funktionsprüfung.

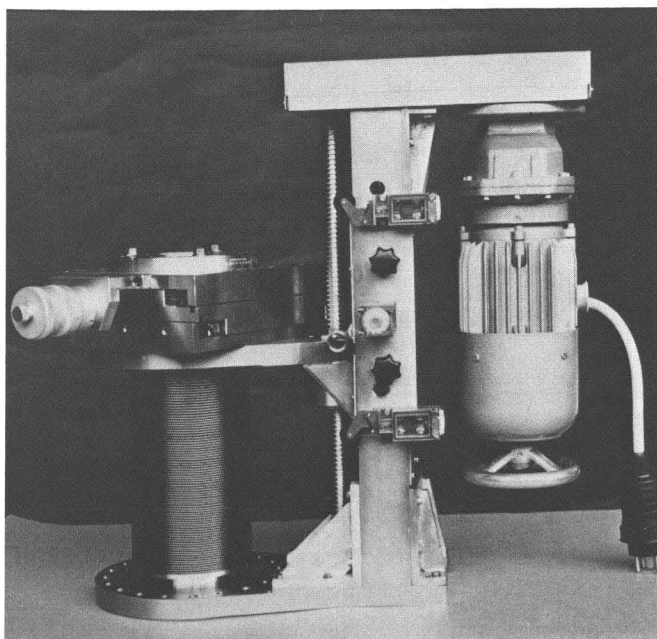


Bild 31
Hubvorrichtung für den UHV-Manipulator der Molekularstrahlapparatur

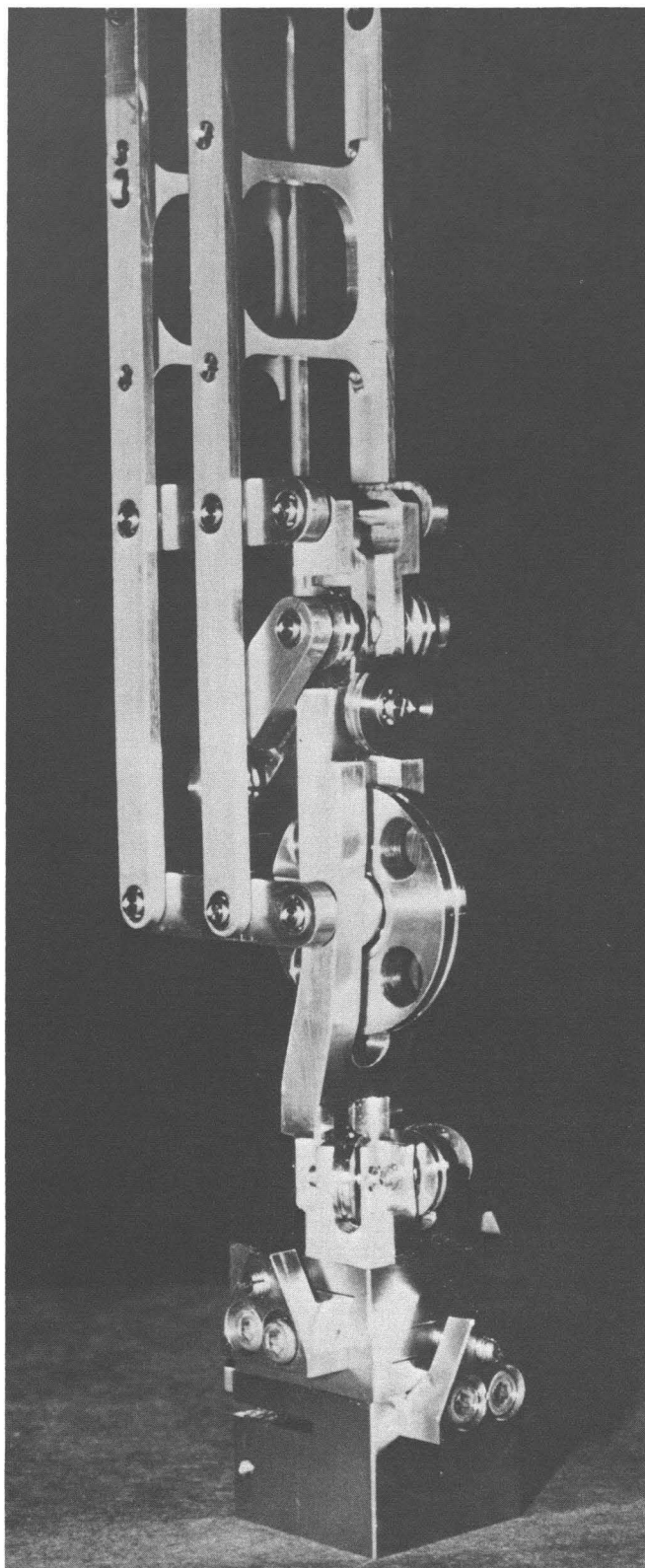


Bild 32
Viergelenkkette des UHV-Manipulators mit Antriebs- und Umlenkrollen während der Montage

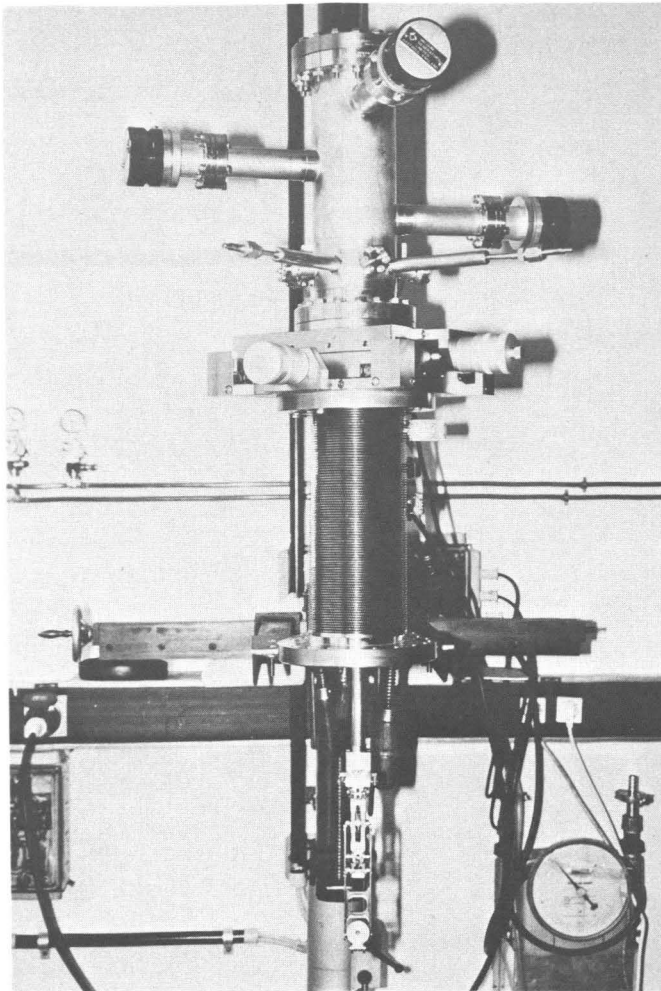


Bild 33
UHV-Manipulator (IGV) mit sechs Freiheitsgraden
während der Funktionsprüfung in TD-MW

Laser-Lichtspektrometer (IFF-12)

Die Analyse der Streucharakteristik elastischer Lichtstreuung an Mischungen von Polymeren mit großem Molekulargewicht ist eine wichtige Methode, die Kinetik und die Dynamik ihrer Phasentrennungsprozesse zu untersuchen. Als Lichtquelle wird ein Laser benutzt, dessen monochromatisches Licht an der Probe diffuses Streulicht erzeugt. Dieses wird – den Streubereich horizontal abtastend – in einem Analysator hinsichtlich der Polarisation und in einem Photomultiplier bezüglich der Intensität analysiert.

Das Laser-Lichtspektrometer (Bild 34 und Bild 12, Seite 78) besteht aus einer Vielzahl feinmechanisch-optischer Bauteile. Auf der ortsfesten optischen Bank befindet sich die Laser-Lichtquelle, der eine Blende, ein Strahlenteiler, ein Polarisator und eine Fokussierungslinse vorgeordnet sind. Der polarisierte, fokussierte Lichtstrahl trifft auf das in einer thermostatisierten Zelle befindliche Polymergemisch und wird daran gestreut. Horizontal und konzentrisch zur Probenachse wird ein Analysatorsystem (Bild 35) gedreht. Es besteht aus einer Kreuzspaltblende, dem Analysator, dem Abschwächer und dem Photomultiplier. Diese Einheiten sind auf einer weiteren optischen Bank angeordnet, die mit einem Drehtisch verbunden ist. Der Drehtisch wird rechnergesteuert von einem Schrittmotor über einen Winkelbereich von $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$ angetrieben, die Positionsanzeige erfolgt durch einen Drehwinkelgeber.

Die ortsfeste Probenachse enthält die in einem Temperaturbereich von 20° bis 250°C mit einer Toleranz

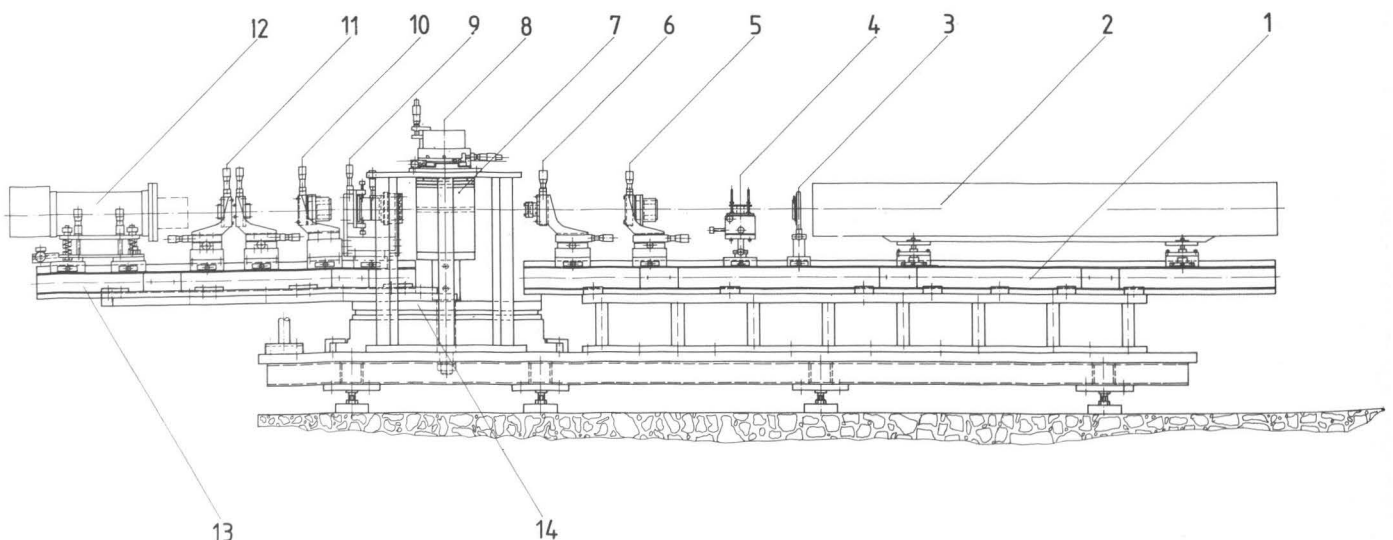


Bild 34
Schematischer Aufbau des Laser-Lichtspektrometers (IFF-12)

- | | | | | |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|
| 1 Optische Bank | 4 Strahlenteiler | 7 Thermostatisierbare Zelle | 10 Analysator | 13 Optische Bank |
| 2 Laser-Lichtquelle | 5 Polarisator | 8 Probenachse | 11 Abschwächer | 14 Drehtisch |
| 3 Blende | 6 Fokussierungslinse | 9 Kreuzspaltblende | 12 Photomultiplier | |

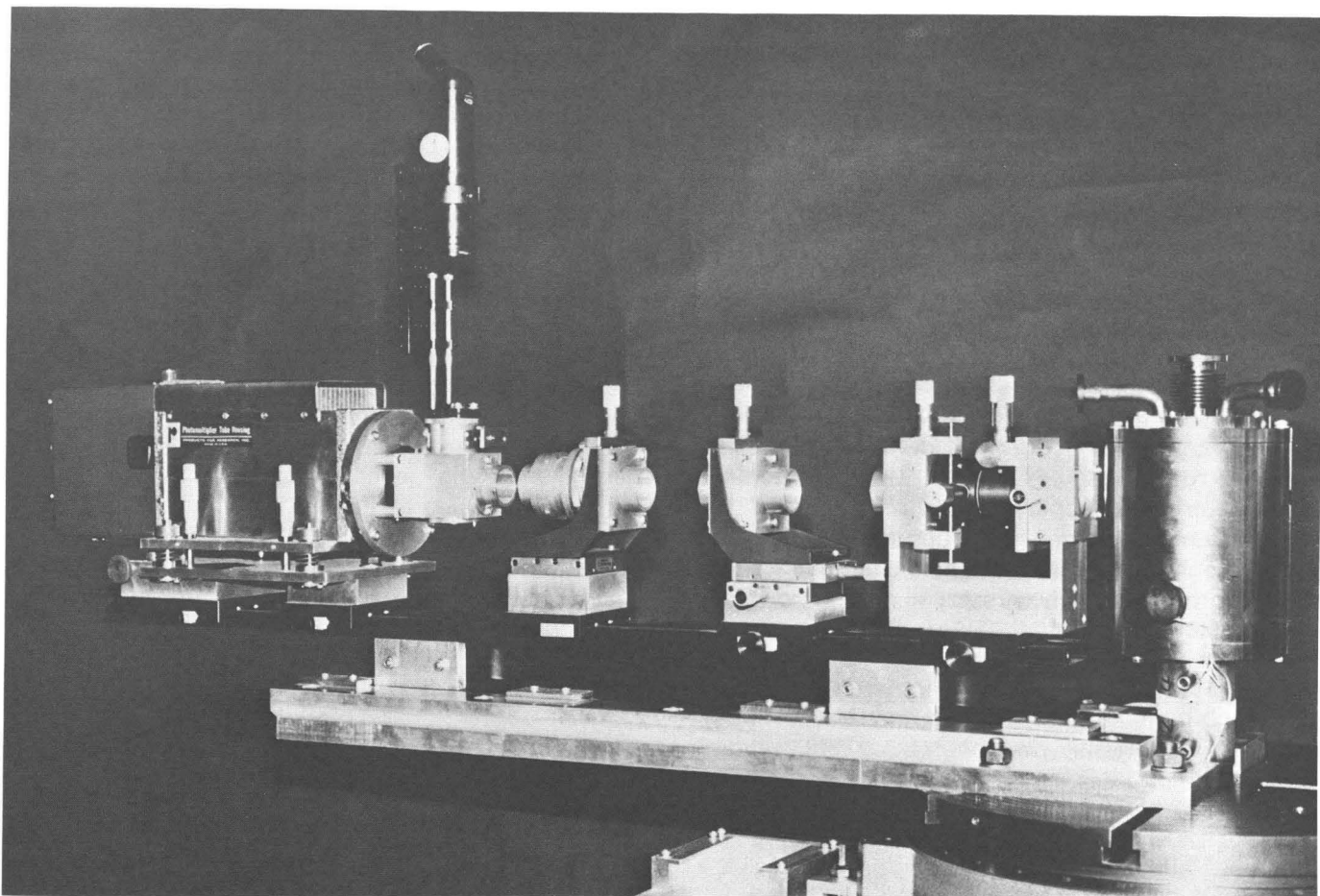


Bild 35

Analysatorsystem des Laser-Lichtspektrometers (IFF-12); links: Photomultiplier; davor: Abschwächer; Mitte: Analysator; rechts: Kreuzschlitzblende und Probenachse

von $\pm 0,05^\circ\text{C}$ thermostatisierbare Zelle aus Quarzglas oder Saphir zur Aufnahme der Probe. Sie hat die Form eines Halbzylinders, auf den ein flaches Glasblättchen – mit einem Spalt von 10 bis 200 μm Tiefe als Probenkammer – gelegt wird.

Entsprechend der Spezifikation und der darin festgeschriebenen Präzision wurden die Baugruppen des Spektrometers mit sehr engen Toleranzen gefertigt, wie sie für den feinmechanisch-optischen Gerätebau üblich sind. Die nach der Montage durchgeführten Funktionsprüfungen zeigten, daß die gestellten Anforderungen erfüllt waren.

π -(Rückstreu-)Spektrometer und Dopplerreflektor (IFF-8)

Das π - oder Rückstreuspektrometer dient der Strukturuntersuchung von Metallproben mit subthermischen Neutronen und ist speziell dafür konzipiert, mit kleiner Energieübertragung ($\Delta E < 1\mu\text{eV}$) eine sehr gute Energieauflösung zu erreichen. Ein wichtiges Funktionselement des Spektrometers ist dabei ein neu entwickelter Dopplerantrieb, dessen Aufgabe es

ist, nur die mit einer Geschwindigkeit von 630 m/s auftreffenden Neutronen zu selektieren und in einem Frequenz- bzw. Geschwindigkeitsbereich von $0 \pm 5\text{ s}^{-1}$ bzw. $\pm 2,5\text{ m s}^{-1}$ zu reflektieren. Dadurch wird das Auflösungsvermögen des Spektrometers, das im Externen Neutronenleiterlabor ELLA am Neutronenleiter I (Bild 50, Seite 98) aufgestellt ist, wesentlich erhöht.

Ein polychromatischer Neutronenstrahl (Bild 36) der Kalten Neutronenquelle gelangt durch den Neutronenleiter I in das Meßhaus ELLA und trifft dort zunächst auf den mit Si-Kristallen beschichteten Monochromator. Dieser ist mit dem Dopplerantrieb verbunden, der hydraulisch gesteuerte Schwingungen des Monochromators in Strahlrichtung erzeugt. Die Schwingungen weisen einstellbare sinus-, dreieck- oder trapezförmige Geschwindigkeits-Zeitprofile auf, die bei einer Hubfrequenz bis 5 Hertz Scheitelgeschwindigkeiten von $+2,5\text{ m s}^{-1}$ bzw. $-2,5\text{ m s}^{-1}$ ergeben. Die Geschwindigkeit der in den Neutronenstrahl I bis zum Ablenkkrystall reflektierten monochromatisierten Neutronen variiert daher mit einer Bandbreite von 5 m s^{-1} (Dopplereffekt).

Am Ablenkkristall werden diese Neutronen in einem Winkelbereich von 22° bis 110° , um den das Spektrometer geschwenkt werden kann, durch einen konischen Neutronenleiter zur Probe hin abgelenkt. Dort werden sie in der Gitterstruktur der Probe gestreut und treffen zum Teil auf die etwa 800 Si-Analysatorkristalle, mit denen die Kugelflächen mehrerer aus Aluminiumplatten hergestellter Kristallhalter beschichtet sind. Im Schnittpunkt der Kugelradien jedes Kristallhalters, unmittelbar neben der Probe, befinden sich Zählrohre, mit denen die von den Analysatorkristallen zurückgestreuten Neutronen nach Anzahl, Flugzeit und Energieverteilung registriert werden.

Unmittelbar vor der Probe trifft der Neutronenstrahl auf eine rotierende, als Blende wirkende Scheibe eines Neutronenchoppers, die in regelmäßigen Abständen und für einen eng begrenzten Zeitraum „Neutronenbündel“ durchläßt und die übrigen Neutronen absorbiert. Zeitlich versetzt und synchron dazu werden die Zählrohre ein- und ausgeschaltet. Der

Zeitversatz ist so gewählt, daß er der zweifachen Flugzeit der Neutronen von der Probe bis zu den Analysatorkristallen entspricht. Dadurch werden praktisch nur Neutronen aus den „Bündeln“ von den eingeschalteten Zählrohren registriert, während vagabundierende Neutronen auf abgeschaltete Zählrohre treffen.

Die Baugruppen der Probenachse und die in einem Winkel von 145° kreisförmig auf dem Schienensystem um die Probenachse verfahrbar angeordneten Kristallhalter befinden sich innerhalb einer 100 mm dicken Abschirmung (Bild 54, Seite 100), die aus Borcarbid, Polyethylen und wasserhaltigen Füllstoffen besteht. Sie wiegt etwa 12 t, ist auf Luftkissenfüßen gelagert und kann deshalb manuell von einer Person über den Winkel von 22° bis 110° zum Neutronenleiter geschwenkt werden. Zur Reduzierung der Streuverluste in Luft ist der Innenraum der Abschirmung mit Argon gefüllt. Der konische Neutronenleiter ist – wie das übrige Neutronenleitersystem – evakuiert.

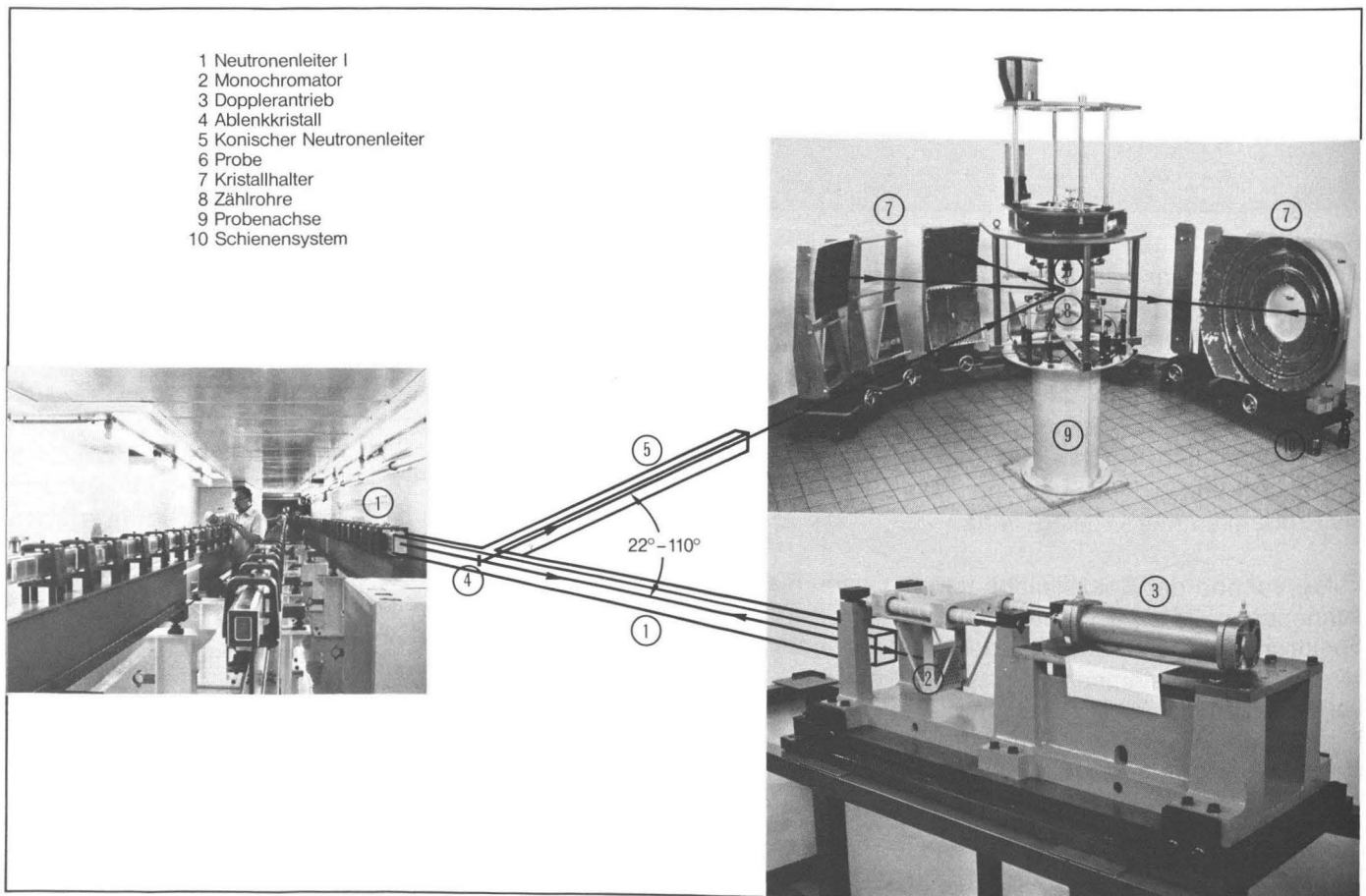


Bild 36

π -Spektrometer des IFF mit Dopplerantrieb am Neutronenleiter I im Externen Neutronenleiterlabor (ELLA)

Fertigungsplanung (TD-MW/P)

Anforderungen und Aufgaben

- Auftragsbezogene Planung und Steuerung in- und externer Fertigungskapazitäten
- Betriebsmitteltechnik, Arbeitsvorbereitung
- Auftragssteuerung, Zusammenarbeit der Werkstätten
- Kapazitätserweiterung, Technologieergänzung

Das Fertigungspotential der KFA entspricht mit der Kapazität von fast 400 Mitarbeitern und 250 größeren Maschinen in ihren 22 mechanischen Werkstätten dem einer mittleren Maschinenfabrik. Dabei übersteigt der gesamte mechanische Fertigungsbedarf für experimentelle Forschungsvorhaben und Betriebseinrichtungen die intern verfügbaren Fertigungstechnologien und -kapazitäten noch ganz erheblich, so daß viele Firmen der unterschiedlichsten Branchen hinzugezogen werden müssen, um die Herstellung von Experimentiereinrichtungen und Anlagenkomponenten anforderungsgerecht zu realisieren.

Dieser Umfang des Fertigungsbedarfs erfordert im Vorfeld der Fertigung eine angemessene, fertigungs-

nahe Planung und Steuerung der in- und externen Kapazitäten und Vorhaben, um die vielseitigen Aufgaben fachlich und terminlich richtig zu erfüllen.

Die Gruppe Betriebsmitteltechnik bereitet dazu die erteilten Aufträge technisch und organisatorisch so vor, daß sie sowohl intern als auch extern zügig mit den Schritten Arbeitsablaufplanung, Terminierung, Fertigung, Prüfung und Inbetriebnahme bearbeitet werden können.

Um im Interesse der Auftraggeber zu kürzeren und genauer bestimmten Durchlaufzeiten der Aufträge zu gelangen und trotzdem eine sinnvolle Kapazitätsauslastung zu sichern, plant und steuert die Gruppe Auftragssteuerung die Kapazitätsbelegung und -nutzung. Sie veranlaßt, überwacht und sichert die Auftragsbearbeitung hinsichtlich Fertigungsort, Plantermine, Durchlaufzeit und Kosten.

Aufgrund der Personalverknappung in allen mechanischen Werkstätten werden die Fertigungskapazitäten ständig geringer. Daher müssen weiterführende Impulse wirksam werden, um entsprechend den anstehenden Fertigungsaufgaben Ausgleich und Entlastung der Werkstätten untereinander zu mobilisieren. Diese anspruchsvolle Aufgabe bedarf einer kontinuierlichen Aufarbeitung innerhalb der Fertigungsplanung.

Betriebsmitteltechnik

Anforderungen und Aufgaben

- Fertigungstechnische Auftraggeber- und Fremdfirmenberatung, technische Klärung und Arbeitsvorbereitung für alle Aufträge zur in- und externen Herstellung von Forschungs- und Betriebseinrichtungen
- Arbeitsablaufplanung
- NC-Programmierung
- Fertigungsvergabe

Die hohen technischen und organisatorischen Anforderungen an die Kapazitätsnutzung und an die Auftragsabwicklung sind gekennzeichnet durch möglichst kurze Fertigungs- und Montagezeiten, transparente Nutzung der maschinellen und personellen Kapazitäten, gesteuerte Arbeitsabläufe in ihrer planmäßigen Folge, sicher kalkulierbare Herstell- und Liefertermine. Sie machen eine Arbeitsvorbereitung für alle größeren Fertigungsaufträge unumgänglich, unabhängig davon, ob die Fertigung in- oder extern erfolgt.

Besonders wichtig ist dabei die frühzeitige Abstimmung mit den Auftraggebern über die Möglichkeiten der Fertigung, damit die vielseitigen Fertigungsalternativen bereits vor Auftragserteilung berücksichtigt werden. Hierzu gehört die Vorbesprechung von Konstruktions-, Fertigungs-, Prüf-, Werkstoff- und Werkzeugproblemen, deren Lösung später die Herstellung erleichtert, die Herstellzeiten verkürzt und die Gerätefunktion sichert und verbessert.

Ein anderer Aufgabenschwerpunkt ist die Fertigungsvergabe, deren Tätigkeiten – im steten Zusammenwirken mit den Auftraggebern – von der technischen Klärung der Vorhaben über die Auftragsvergabe, die Fertigungskontrolle und -prüfung bis zur Endabnahme und Inbetriebnahme reichen. Die KFA ist dabei als Auftraggeber daran interessiert, industrielle Angebote technisch und wirtschaftlich sinnvoll zu nutzen. Grundlage dafür bildet das aus vielen Vergabeaufträgen sowie aus der eigenen Fertigung gewonnene ingenieur-, fertigungs- und prüftechnische know-how, das in allen Phasen entsprechend Anwendung findet. Geeignete Beratung und Unterstützung des Herstellers stellen sicher, daß erbrachte und abgenommene Lieferungen und Leistungen den geforderten und angebotenen in vollem Umfang entsprechen.

Arbeitsablaufplanung

- Fertigungstechnische Beratung der Auftraggeber, technische Klärung der Fertigungsangaben und -unterlagen, Fertigungsbetreuung
- Fertigungsfolgeplanung: Ermittlung der Fertigungsstufen und des technisch-organisatorisch optimalen Ablaufs der bis zur Fertigstellung erforderlichen internen Werkstatt-Einzelleistungen
- Schweiß- und Schweißfolgeplanung zur anforderungsgerechten Durchführung und Überwachung der Schweißarbeiten
- Prüf- und Prüffolgeplanung für die während der Fertigungs-, Bau- und Funktionsprüfung erforderlichen Prüftätigkeiten
- Fristenplanung: Ermittlung der im Fertigungsverlauf je Fertigungsstufe benötigten Bearbeitungszeit
- Materialplanung: Feststellen und Spezifizieren aller erforderlichen Werkstoffe, Halbzeuge, Sonderwerkzeuge und Kaufteile als Beschaffungsvorbereitung
- Entwurf und Konstruktion von Vorrichtungen für die Fertigung; Angebotskalkulation
- Durchführung der Arbeitssicherungsverfahren

Innerhalb der technischen Auftragsbearbeitung bildet die Arbeitsablaufplanung im Vorfeld der Fertigung das planende Bindeglied zwischen der Konstruktions- und der Fertigungsphase. Die Tätigkeit des Arbeitsplaners setzt bereits während der konstruktiven Gestaltung und Detaillierung ein. Hier besteht die Aufgabe darin, fertigungstechnische Erfordernisse bei der Bauteilauslegung einzubringen. Mit dieser Konstruktionsberatung können unnötige iterative Planungsabläufe und nachträgliche Änderungen der Zeichnungen erheblich reduziert werden. Meist sind die funktionsorientierten Konstruktionszeichnungen fertigungsorientiert zu überarbeiten und zu ergänzen, um den Aufwand an technischer Klärung in der Werkstatt so klein wie möglich zu halten (Bild 3).

Eine Hauptaufgabe der Arbeitsplanung besteht darin, bei komplexeren Aufträgen – ausgehend von den Auftragsunterlagen wie Skizzen, Muster, Zeichnungen und Stücklisten – die zur Durchführung der Fertigungs-, Montage- und Prüfarbeiten notwendigen Arbeitsschritte und ihre günstigste Reihenfolge zu ermitteln. Daraus entstehen Fertigungs-, Schweiß- und Prüffolgepläne mit Fertigungsangaben, welche die Arbeitsabläufe transparent gestalten und steuerbar machen (Bilder 1 bis 4).

Eine weitere, elementare Aufgabe ist die Ermittlung der Sollzeiten, die für jede Fertigungsstufe die Fristen der Auftragsbearbeitung bestimmen. Die Daten und Informationen der Arbeitsablaufplanung sind im Arbeitsplan (Bild 1) enthalten, der Grundlage für jeden Werkstattauftrag und für die Kostenträgerabrechnung ist.

Auftrag-Nr.		Baugang-Nr.		Auftr. Ko. St.	Termin	Bestell-Nr. des Auftragsgebers		Geplante Stichtage	
105408		31		172 23	K113	001200	100		
1 Druckbehälter n. Z-Nr. 175.04.144-00.1.2					Prozess-Z.Nr. 013105		Grundzeichn. 1.4541, 1.4571, 1.4572		
Arbeitsbeschreibung				Arbeits-Z.Nr. 2.3.82		Werkstoff		Tabelle	
1. drehen				2.3.82		Mitte		5542	
Auftr. Ko. St.	Arbeitsgang Kennziffer	Nr.	von	Datum-Termin bis	Woche	VZ	Spät-Stb.	Fertig am	
	003110	2	06.05.82	06.05.82				3. Laufwerk	
I	Arbeitsbeschreibung drehen - AI (Z-Nr.-00.1.2 Pos. 3 u. 7)								
	003110	2	06.05.82	06.05.82				1. Laufwerk	
I	Arbeitsbeschreibung drehen (Z-Nr.-00.1.2 Pos. 9)								
	003010	2	07.05.82	07.05.82				4. Seile	
I	Arbeitsbeschreibung Walzen d. Mantel Pos. 2 u. 4 (einsehl. Schm.-Träger anschm. Schm.-Hilfe)								
	003400	2	07.05.82	07.05.82				2. Seile	
II	Arbeitsbeschreibung schweißen, Z-Nr.: 5A54-1G (Längsnahte) Pflg. Tür. d. Mantel Abn. d. Tür.								
	003120	2	10.05.82	11.05.82				1. Nieren	
II	Arbeitsbeschreibung schweißen, Z-Nr.: 5A54-1G (Längsnahte) Pflg. Tür. d. Mantel Abn. d. Tür.								
	003120	2	10.05.82	11.05.82				1. Nieren	
II	Arbeitsbeschreibung drehen Schm. Pos. 2 u. 4. Furt-Länge Pos. 2 u. 4. Ausspeichen Pos. 5, 2, 3, 4								
Auftr. Ko. St.	Arbeitsgang Kennziffer	Nr.	von	Datum-Termin bis	Woche	VZ	Spät-Stb.	Fertig am	
12	003300	2	12.05.82	12.05.82				4. Wirtig	
12	Arbeitsbeschreibung sonst. M. Arbeit (bohren) (Pos. 1, 6, 9) . M50"								
15	003400	2	12.05.82	13.05.82				6. Stöcke	
16	Arbeitsbeschreibung schweißen, Z-Nr.: 5A54-1G Pflg. Röntgen, d. Apr. Hülle d. R. Tür. Abn.								
	003000	2	13.05.82	13.05.82				1. d. Wirtig	
17	Arbeitsbeschreibung Handarbeit u. Montage (z. d. Ausspeichen d. Bleches Pos. 5)								
	003230	2	19.05.82	19.05.82				3. Laufwerk	
19	Arbeitsbeschreibung Schalen-Bohrn, 133 (Behälter einbringen)								
	003400	2	21.05.82	21.05.82				1. Seile	
21	Arbeitsbeschreibung schweißen, Z-Nr.: 5A54-1G (anschm. d. Pos. 8) Pflg. Hülle d. Tür. Abn.								

NTA ex 20.54

29.3.82

ORMIG-Original I

Bild 1

Arbeitsplan, zeilenumdruckfähig. Die aufeinanderfolgenden Fertigungsstufen werden mit allen notwendigen technischen Angaben und den zugehörigen Bearbeitungs-Schätzzeiten in den Arbeitsplan eingetragen, der damit Grundlage des Werkstattauftrages ist.

Alle zur Herstellung des Auftrages erforderlichen Werkstoffe, Halbzeuge, Sonderwerkzeuge und Kaufteile werden im Vorfeld der Fertigung ermittelt und in den Materialplan (Bild 2) übernommen. Dieser bildet die Grundlage für die vereinfachte auftragsbezogene Materialbeschaffung und -bereitstellung sowie für die Überwachung der Materialtermine. Die beim Fertigen von Prototypen oftmals notwendige Vorrichtungskonstruktion wird ebenfalls von der Arbeitsablaufplanung wahrgenommen.

Allgemeine Daten										Schweiß-Lösungsmittel										Schweißdaten										Lötstellen										Wärmebehandlung										Außerer Befund										Innerer Befund										Nachbefeuchtung										Bemerkung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Zeichnungs Nr.		Pos.		Grundwerkstoff		Schweißverfahren		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel		Schweiß-Lösungsmittel	

Bild 4

Schweiß- und Schweißprüfplan. Der Schweißplan enthält alle Angaben zur Vorbereitung, Durchführung und Überwachung der Schweißarbeiten und dient bei der Herstellung überwachungspflichtiger Geräte und Apparaturen auch der Prüfdokumentation und Abnahme durch den technischen Sachverständigen.

KFA Jülich GmbH

Prüfplan und Prüfprotokoll

Auftrags-Nr.	105402	Baugruppe	172	Auftr.-Ko. St.	172	Form	001200	Bezeichnung des Auftragsgebers	001200	Gesamt Stunden	
1. Druckbehälter		2. Zehng. anf.		3. Bauteil-Nr.		4. Prüfplan-Nr.		5. Prüfplan-Nr.		6. Prüfplan-Nr.	
175.04.144-00.1.2		175.04.144-00.1.2		175.04.144-00.1.2		175.04.144-00.1.2		175.04.144-00.1.2		175.04.144-00.1.2	
PRÜFUMFANG**											
Nr.	Prüfung	Prüfer	Standard-Anforderung	Sonder-Anforderung	Ergebnis	Prüfer	Zeichen	Datum			
1	ja/nein	Visuelle Prüfung	Allgemeine Beschaffenheit		o.B.	R	11.1.12				
2	ja/nein	Werkstoffkontrolle	nach Zeichnung	3.1 B	o.B.	R	11.1.12				
3	ja/nein	Maßkontrolle	nach Zeichnung		o.B.	R	11.1.12				
4	ja/nein	Schnüffel-Lecktest	110 ³ mbar /s		o.B.	R	11.1.12				
5	ja/nein	He-Lecktest	110 ³ mbar /s		o.B.	R	11.1.12				
6	ja/nein	He-Integral-Lecktest A	110 ³ mbar /s		o.B.	R	11.1.12				
7	ja/nein	He-Integral-Lecktest B	110 ³ mbar /s		o.B.	R	11.1.12				
8	ja/nein	Thermozyklus-Prüfung	5 x 300 K, 80 K, 300 K		o.B.	R	11.1.12				
9	ja/nein	Lötnaht-Prüfung	Guteklasse III		o.B.	R	11.1.12				
10	ja/nein	Schweißnaht-Prüfung	Guteklasse III		o.B.	R	11.1.12				
11	ja/nein	Wasser-Druckprobe	1,3 x zul. Betriebsdr.	5,2 bar	o.B.	R	11.1.12				
12	ja/nein	Gas-Druckprobe	1,1 x zul. Betriebsdr.		o.B.	R	11.1.12				
13	ja/nein	Funktionsprüfung	Betriebsdaten		o.B.	R	11.1.12				
14	ja/nein	Rißprüfung	Klein- und Mitteldruck	RS-451	o.B.	R	11.1.12				
15	ja/nein	Röntgen			o.B.	R	11.1.12				
16	ja/nein	Innenbesichtigung			o.B.	R	11.1.12				
Bemerkungen:											
"Mappe" - gezeichnet u. passiviert TÜV-Abn.											
Bauteil-Nr. 229 Schweiß- u. Prüfplan: RS-451											
Bruckert (IRB) 27.3.82 12.8.82											

Bild 5

Prüfplan und Prüfprotokoll mit häufig wiederkehrenden Prüfungen und Prüfanforderungen – außer Schweißnahtprüfungen –, die in der KFA-Norm 971-420 standardisiert wurden. Sie sind mit vertretbarem Aufwand durchführbar und garantieren einen hohen Qualitätsstandard der Werkstattfertigung. Sonderanforderungen und Funktionsprüfungen müssen zusätzlich spezifiziert werden.

Der Arbeitsumfang der Gruppe Arbeitsablaufplanung könnte wesentlich reduziert werden, wenn der Auftraggeber bereits bei der Auftragserteilung die erforderlichen Prüfungen und Prüfanforderungen in absehbarem Umfang angeben würde.

NC-Programmierung

- Beratung in NC-Fertigungsfragen, technische Klärung der Fertigungsangaben und -unterlagen, Planung des Fertigungsablaufs
- Erstellen der NC-Quellenprogramme und der Steuerlochstreifen für die Fertigung mit NC-Dreh- und -Fräsmaschinen
- Planung, Beschaffung und Bereitstellung aller Werkzeuge und Spannmittel
- Programmtests und NC-Fertigungsbetreuung

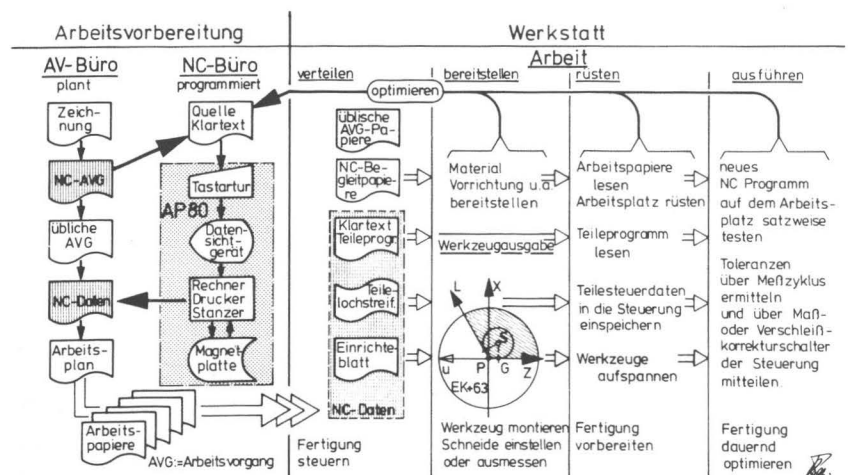
Die Fertigung mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in TD-MW ist als technologische Ergänzung der konventionellen spanabhebenden Bearbeitungsverfahren Drehen, Fräsen und Bohren anzusehen. Die NC-Fertigung findet ihre Anwendung schon bei der Einzelfertigung von Werkstücken mit komplizierter Geometrie, z.B. mit Raumkurven und großen Radien. Derartige Teile lassen sich auf konventionellen Zerspanungsmaschinen oft gar nicht oder nicht mit der gewünschten Qualität herstellen [31].

Die NC-Programmiergruppe berät bei allen NC-Fertigungsfragen. Sie prüft die Fertigungsunterlagen und -spezifikationen auf Durchführbarkeit und fertigungsgerechte Konstruktion und erarbeitet die Unterlagen für die NC-Programmierung.

Sie erstellt dann an einer PDP 11/44 mit Unterstützung der in FORTRAN geschriebenen Autoprogrammer-80-Software die einzelnen NC-Quellenprogramme, die alle Steuerbefehle für den automatischen Fertigungsablauf enthalten. Mit dem maschinenspezifischen Postprocessor erfolgt die Umsetzung in den von der Maschinensteuerung lesbaren NC-Lochstreifen (Bild 6).

Bild 6

Die NC-Programmierung erfolgt maschinell auf einer PDP 11/44 mit Multi-User-Betriebssystem RSX 11 M und AUTO-PROGRAMMER-80-Anwendersoftware. NC-Quellenprogramme werden mittels maschinenspezifischem Postprocessor auf Lochstreifen umgesetzt. Im Organisationsschema ist die Zusammenarbeit zwischen AV- und NC-Büro sowie der NC-Fertigung dargestellt.



Vor Beginn der Programmierung sind die Werkzeuge mit den geeigneten Zerspanungsdaten festzulegen; sie werden dann voreingestellt und auftragsgerecht bereitgestellt. Sonderwerkzeuge sind zu planen und zu beschaffen. Zur NC-Bearbeitung gehört außer der Programmierung die Ausarbeitung des Spannplanes, der die geometrische Lage des Werkstückes auf dem Maschinentisch exakt festlegt und hinsichtlich der Programmdaten definiert.

Die zeitaufwendigen und damit teuren Werkstücke setzen gründliche Programmtests sowohl mittels Plotter als auch durch Simulationslauf an den Maschinen voraus.

NC-Fertigungsbeispiele

Bei Fusionsexperimenten werden Ionengitter benötigt, um aus einem Wasserstoffplasma Ionen zu extrahieren und auf hohe Energien zu beschleunigen. Ein Gittersatz (Bild 7) besteht aus dem Erdgitter (links),

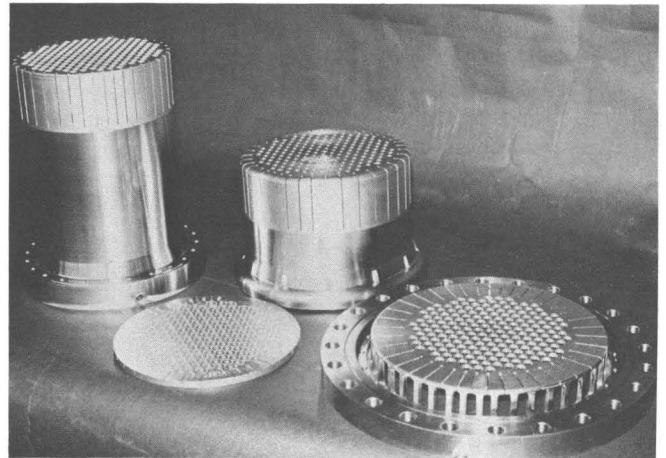


Bild 7

Ionengittersatz zur Extraktion von Wasserstoffionen (ZBB/IPP)

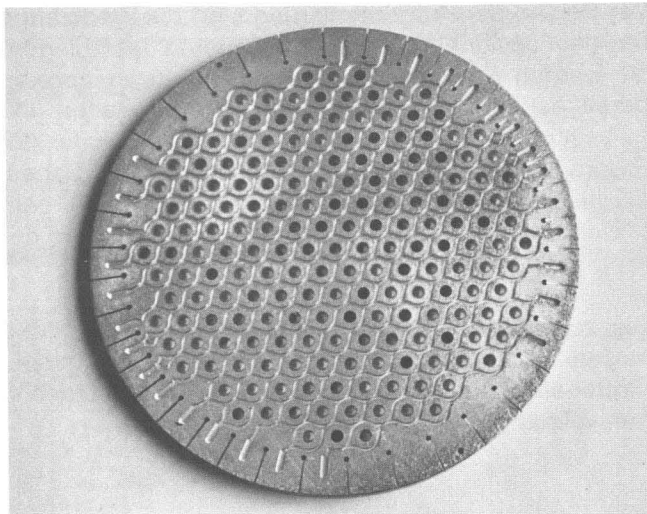


Bild 8
Fertig bearbeitete Kühlplatte zum Anlöten an die Gitterplatte

dem Beschleunigungsgitter (Mitte) und dem Plasma-gitter (rechts), die im Experiment konzentrisch übereinandergesteckt eingebaut sind. Je eine Kühlplatte (davor und Bild 8) ist von innen so gegen die Gitter gelötet, daß die Nuten mit der Unterseite der Gitterplatten geschlossene Kühlkanäle für die Kühlung der Gitterstruktur bilden [45].

Der Ionenstrom von ca. 24 A ergibt bei einer Strahlleistung von etwa 1,3 MW eine hohe Verlustleistung, die kühltechnisch beherrscht werden muß. Sie wird beeinflusst von der Herstellgenauigkeit der Gitterstruktur, die der Beschleunigung und Fokussierung des Ionenstrahls dient. Dazu sind die Gitterplatten mit einem Kugelradius von 6 m gewölbt und die je 187 Bohrungen – in der hier gezeigten Version aber achsparell und noch nicht radial – mit einer Abstandstoleranz von $0,02 \text{ mm}$ bei $6 \pm 0,01 \text{ mm}$ Durchmesser angeordnet. Die Kanäle der Kühlplatte (Bild 9) haben eine Breite und Tiefe von $1,5 \pm 0,05 \text{ mm}$.

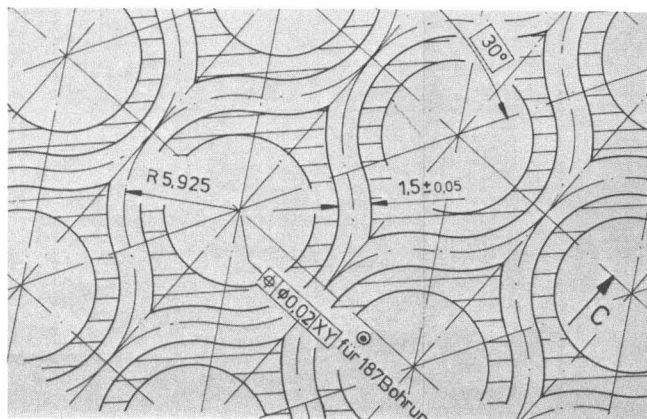


Bild 9
Zeichnungsausschnitt einer Kühlplatte

Die Toleranz des Kugelradius, die Lagetoleranz und die Wiederholgenauigkeit der Bohrungen sind nur auf NC-Maschinen einhaltbar. Eine räumlich radiale Bohrungsanordnung erfordert eine NC-Fräsmaschine mit einer fünften Achse, die erst ab Ende 1986 verfügbar ist.

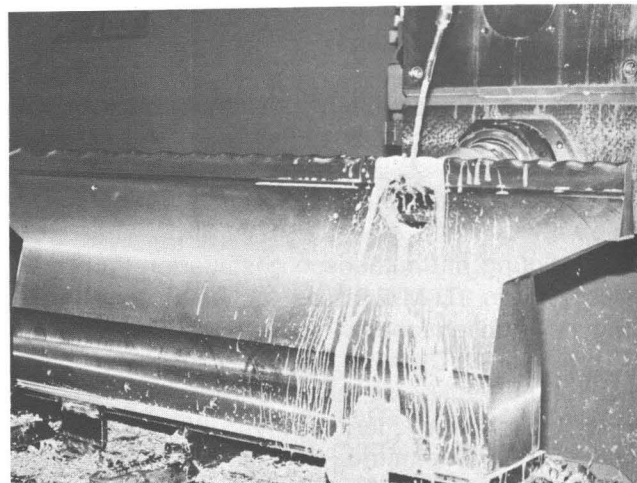


Bild 10
RFQ-Beschleunigerelektrode (ABT), NC-Fräsen der Wellenstruktur am Elektrodenkopf

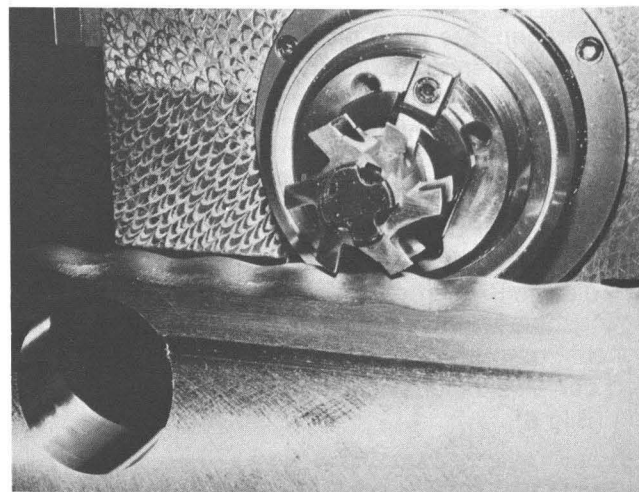


Bild 11
Ausschnitt aus Bild 10; der Krümmungsradius quer zur Wellenstruktur wurde mit einem Spezialfräser hergestellt.

Eine besonders schwierige geometrische Funktion stellt die Wellenstruktur der Beschleuniger-Elektrode für den Radiofrequenzquadrupol-(RFQ-)Prototyp dar (Bilder 10 und 11), die bei veränderlicher Amplitude eine kontinuierlich zunehmende Wellenlänge aufweist und auf dem NC-Rechner nicht programmiert werden konnte. Der Geometrielochstreifen wurde mit Unterstützung der ABT und des ZAM erstellt und in den die Frästechnologiedaten enthaltenden NC-Lochstreifen so integriert, daß die NC-Steuerung alle NC-Fertigungsdaten kombiniert aufnehmen konnte.

Sehr umfangreich ist der NC-Fertigungsanteil der Materialproben für Werkstoffuntersuchungen. Bild 12 zeigt NC-gedrehte Zugproben aus dem ZEMAK-Programm des IRW. Die Diodenkapsel-Mechanik (Bild 13) wurde für eine Fremdfirma hergestellt.

Im Moderatortopf der Kalten Neutronenquelle (Bild 14 und Bild 36, Seite 92) wird mit tiefkaltem Helium Wasserstoff kondensiert. Durch NC-Fertigung wurde es möglich, die Anzahl der Schweißnähte und die Masse des Moderatortopfes auf ein Minimum zu reduzieren.

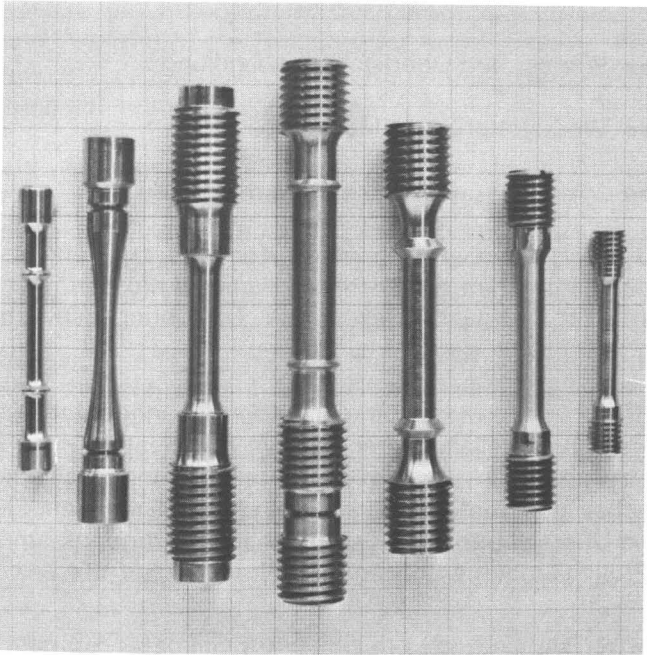


Bild 12
Zugproben für das Werkstoffuntersuchungsprogramm ZEMAK des IRW

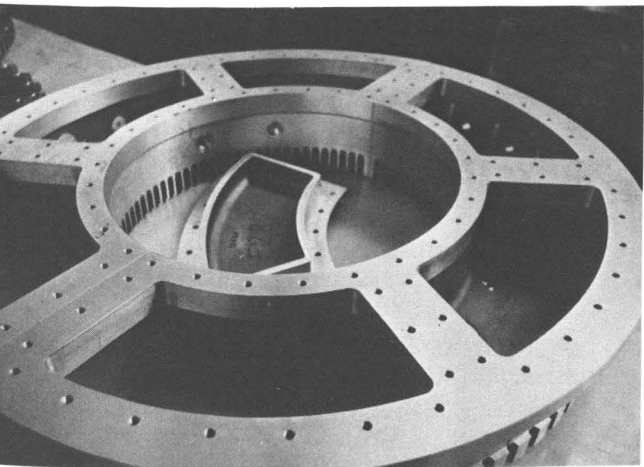


Bild 13
Diodenkapsel-Mechanik (Garbe-Lahmeyer, Aachen)

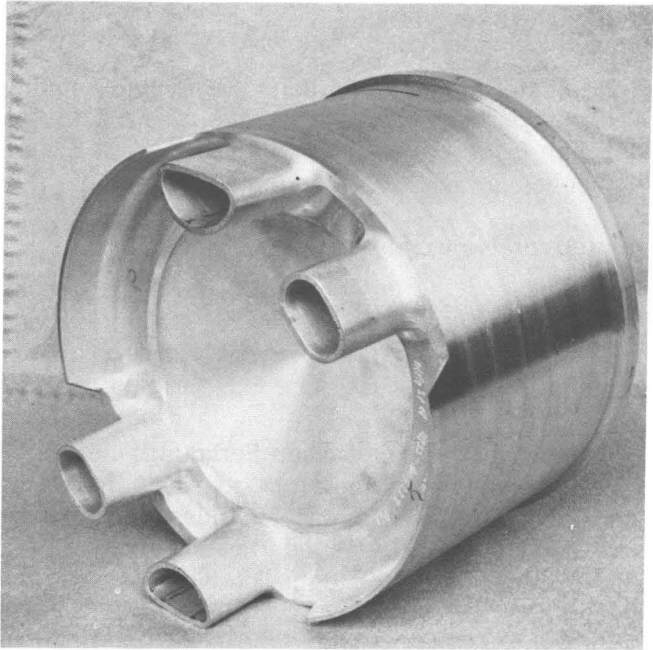


Bild 14
Moderatortopf der Kalten Neutronenquelle (TD-EV)

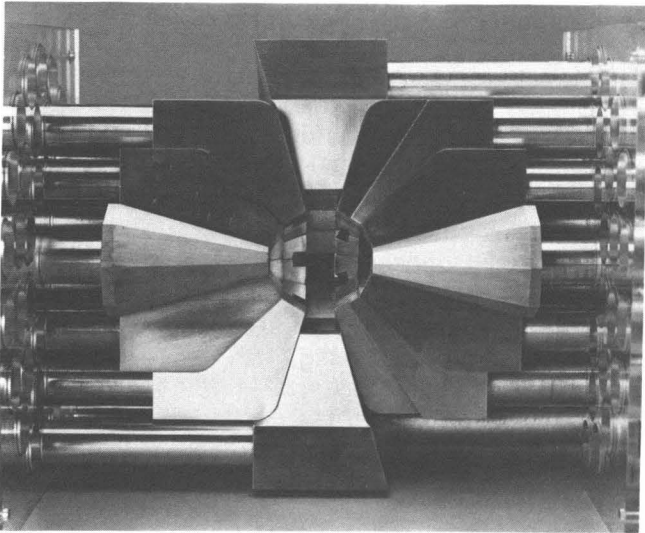


Bild 15
Modell der Anticompton-Abschirmung von OSIRIS (IKP)

OSIRIS, ein hochauflösendes γ -Koinzidenzspektrometer des IKP, enthält zwischen dem Target und den zwölf Anticompton-Spektrometern ein Summenenergie- und γ -Multiplizitätsfilter (Anticompton-Abschirmung), das aus 38 Wismutgermaniat-(BGO-)Detektoren mit zylinderförmigen Photomultipliern zur Messung der Anzahl und der Energie aller γ -Übergänge dient. Ein Modell des halben Filters zeigt Bild 15 mit den radial um den Targetraum angeordneten BGO-Detektor- und den Photomultiplier-Modellen aus Aluminium. Sie bestehen aus vier unterschiedlichen, komplexen Grundformen, die für die NC-Fertigung echte 3D-Anforderungen stellten.

Fertigungsvergabe

- Bereitstellung von Fertigungspotential entsprechend den ingenieur-, fertigungs- und prüftechnischen Erfordernissen zur Herstellung von Experimentier- und Betriebseinrichtungen
- Kapazitätserweiterung
- Technologieergänzung
- Auftragsabwicklung

Die KFA kann ihren Bedarf an Fertigungs- und Prüfkapazität und -technologie nur zu einem Teil intern decken. Die internen Kapazitäten müssen in der Lage sein, den schnellen Tagesbedarf einerseits sowie den aus technischen und terminlichen Gründen nicht nach außerhalb vergebaren, „KFA-typischen“ Teil der Prototypfertigung andererseits zu übernehmen. Dazwischen liegt ein weiterer Bereich vergebbarer Fertigungs- und Prüfaufträge, deren Handhabung experimentnahe Fertigungs- und Prüferkenntnisse sowie Erfahrungen in der technischen Projekt- und Auftragsabwicklung erfordern.

Der Gruppe Fertigungsvergabe obliegt zentral die Bereitstellung intern nicht verfügbarer Fertigungskapazität und -technologie, die aus unterschiedlichen Gründen erforderlich sein kann:

- Durch Belastungsspitzen hervorgerufene maschinelle Kapazitätsengpässe müssen abgebaut oder die Personalkapazität muß erweitert werden, eventuell sogar sehr kurzfristig.
- Die Baugröße der zu fertigenden Teile oder eine größere Anzahl gleicher Werkstücke macht es notwendig, extern fertigen zu lassen. Das gilt vorzugsweise für Großgeräte oder Werkstoffproben.
- Die intern verfügbaren Bearbeitungs- und Fertigungsverfahren bedürfen einer Ergänzung durch andere Technologien.
- Technische oder wirtschaftliche Gründe veranlassen, extern kostengünstigere Fertigung bevorzugt in Anspruch zu nehmen.

Unabhängig von diesen Vergabegründen gestaltet sich die eigentliche Form der Vergabe. Die im Sinne einer „verlängerten Werkbank“ wirksame Teilvergabe betrifft Einzelarbeitsgänge oder spezielle Fertigungs- und Bearbeitungsverfahren. Die Komplettvergabe hingegen bietet sich an als Vergabe von in sich geschlossenen Aufträgen sowohl bei der Herstellung von Einzelgeräten als auch bei (Klein-)Serien und oft im Hinblick auf kostengünstigere Fertigung.

Kapazitätserweiterung, Technologieergänzung

- Maschinelle und personelle Kapazitätserweiterung
- Erschließung von intern nicht verfügbaren Fertigungs- und Prüfverfahren
- Mechanische Bearbeitung, Gerätebau
- Blechbearbeitung, Apparate- und Stahlbau
- Schweiß- und Lötarbeiten
- Wärme- und Oberflächenbehandlung
- Werkstoffprüfung, Meßtechnik
- Montage- und Reparatur-Facharbeiten

Die Fertigungsvergabe pflegt Kontakte zu mehr als 300 Firmen, um den technologischen Anforderungen an die Fertigung, welche ein Forschungszentrum ständig stellt, gerecht zu werden.

Sowohl über Marktabfrage mit Firmenangeboten als auch in Einzelfällen über Abrufvertrag besteht Zugriff zu Fertigungs- und Prüfverfahren in- und ausländischer Industriefirmen unterschiedlicher Branchen. Eine Übersicht über die vermittelbaren Fertigungs- und Prüfleistungen enthalten die Seiten 112 bis 114.

Auftragsabwicklung

- Ingenieurmäßige, technisch-administrative Unterstützung und Beratung der Auftraggeber mit den Kenntnissen und Erfahrungen aus der in- und externen Prototypfertigung
- Erstellen von Spezifikation, Pflichtenheft, Ausschreibungsunterlagen
- Klären anforderungsgerechter externer Fertigungs- und Prüfmöglichkeiten
- Angebotsbearbeitung und -bewertung, Bestellvorbereitung
- Freigabe der Fertigungsunterlagen, Materialbereitstellung, Vorbereitung der Arbeitssicherungsverfahren
- Fertigungskontrolle, Terminüberwachung
- Abnahme, Erprobung, Inbetriebnahme

Mehr jedoch als der technische Kontakt zu leistungsfähigen Herstellerfirmen und die Bereithaltung verschiedenartiger Fertigungskapazitäten steht die Auf-

tragsabwicklung in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber im Vordergrund der Vergabetätigkeit.

Die ingenieurmäßige, fertigungs- und prüftechnische Kundenberatung, die auf Erfahrungen aus der Prototypfertigung mit vielen Firmen und Aufträgen beruht, sowie die Auftragsvorbereitung und -betreuung sollen den Anwender davon entlasten, externe Fertigungsmöglichkeiten suchen und technisch-administrative Kleinarbeit leisten zu müssen, für die im allgemeinen sehr detaillierte Fertigungs- und Abwicklungserfahrungen erforderlich sind. Unter Kundenberatung lassen sich die Vorschätzung von Fertigungskosten, die Erschließung der Fertigungskapazitäten und -verfahren, die Nutzung der umfangreichen Firmenerfahrungen und auch Konstruktionsunterstützung zusammenfassen.

Zur Auftragsvorbereitung zählt in erster Linie die Komplettierung der Auftragsunterlagen wie technische Spezifikation und Pflichtenheft, Festlegung des Prüfumfanges einschließlich TÜV-Prüfung und der erforderlichen Werkstoff-Prüfzeugnisse. Weiterhin gehört hierzu die Klärung eventuell notwendiger Arbeitssicherungsmaßnahmen im Hinblick auf Strahlenschutzvorschriften und UVV/VBG. Danach folgen die gemeinsame Angebotseinholung, der Vergleich des Preis-Leistungs-Verhältnisses, die technische Abstimmung und die Bestell-Anforderung an den Einkauf. Durch rechtzeitige, auftragsbezogene, fertigungstechnisch orientierte Vorleistungen sind meist erhebliche Zeit- und Kosteneinsparungen erzielbar.

Nach der Bestellung und Prüfung der Auftragsbestätigung beginnt die Auftragsabwicklung mit der Zeich-

nungsfreigabe und einer evtl. Materialbereitstellung seitens der Fertigungsvergabe. Daran schließen sich Arbeiten an, die für den Erfolg des Auftrages entscheidend sein können, wie die stetige Terminüberwachung, die Klärung von Fertigungs- und Prüfrückfragen, die Sicherstellung des Änderungsdienstes und die Durchführung von Zwischenabnahmen. Die ordnungsgemäße Endabnahme der Lieferungen und Leistungen und die Prüfung der Funktionstüchtigkeit bilden den Abschluß.

Nachfolgend sind einige Geräte und Apparaturen beispielhaft aufgeführt, die in Fertigungsvergabe hergestellt wurden.

Vakuumtestgefäß für TEXTOR/IPP

Das Vakuumtestgefäß (Bild 16) dient der Prüfung auf Funktion und Betriebssicherheit von peripheren Experimentier- und Diagnoseeinrichtungen für TEXTOR. Mit seiner Hilfe soll unter realen Betriebsbedingungen festgestellt werden, ob die Komponenten u.a. die erforderliche Dichtigkeit, Ausgasungseigenschaft, Temperaturverträglichkeit und mechanische Funktionstüchtigkeit erfüllen. Die Simulation der Wärmestrahlung des TEXTOR-Liners (max. 3 Wcm^{-2}) zeigt z.B. die thermische Rückwirkung auf Bauteile wie Schieber mit Viton-Dichtungen, optische Fenster aus Glas, Quarz, Saphir und andere wärmeempfindliche Komponenten. Nach Entfernen der beiden axialen Böden besteht auch die Möglichkeit, Komponenten des TEXTOR-Torus, z.B. Kompensatoren, zu Testzwecken anzuschließen, da die Flansche wie am TEXTOR gestaltet sind.

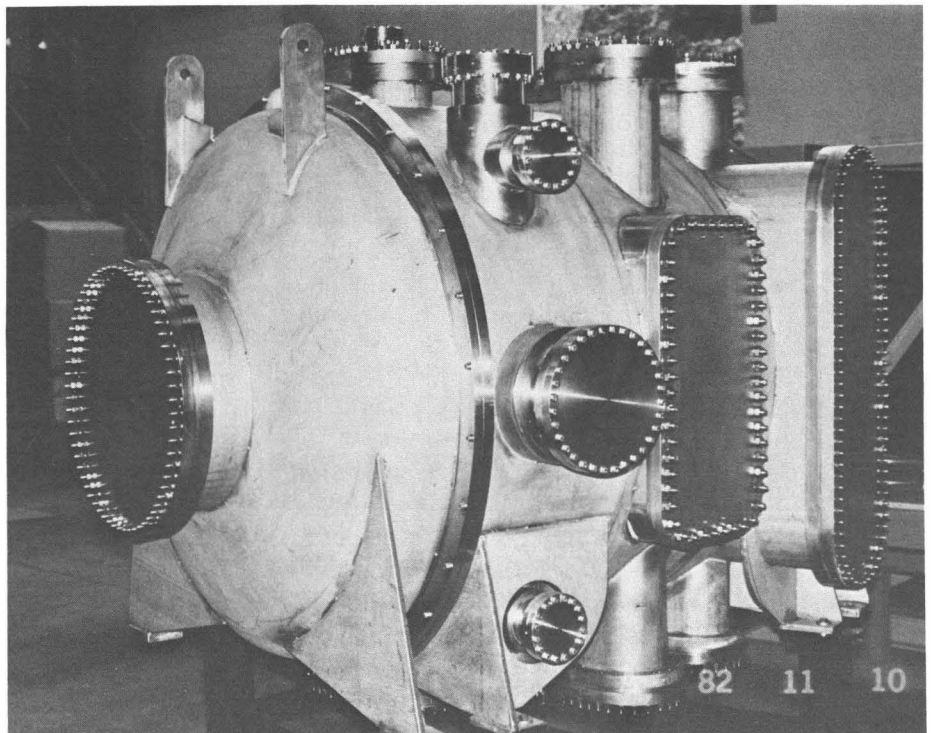


Bild 16
Vakuumtestgefäß (TEXTOR/IPP) mit montierten Deckflanschen und axialen Böden, gesehen von der Außenseite der Krümmung. Die verschlossene Öffnung am linken Boden ist als Mannloch gedacht. Vertikale Stützen sind symmetrisch vorhanden.

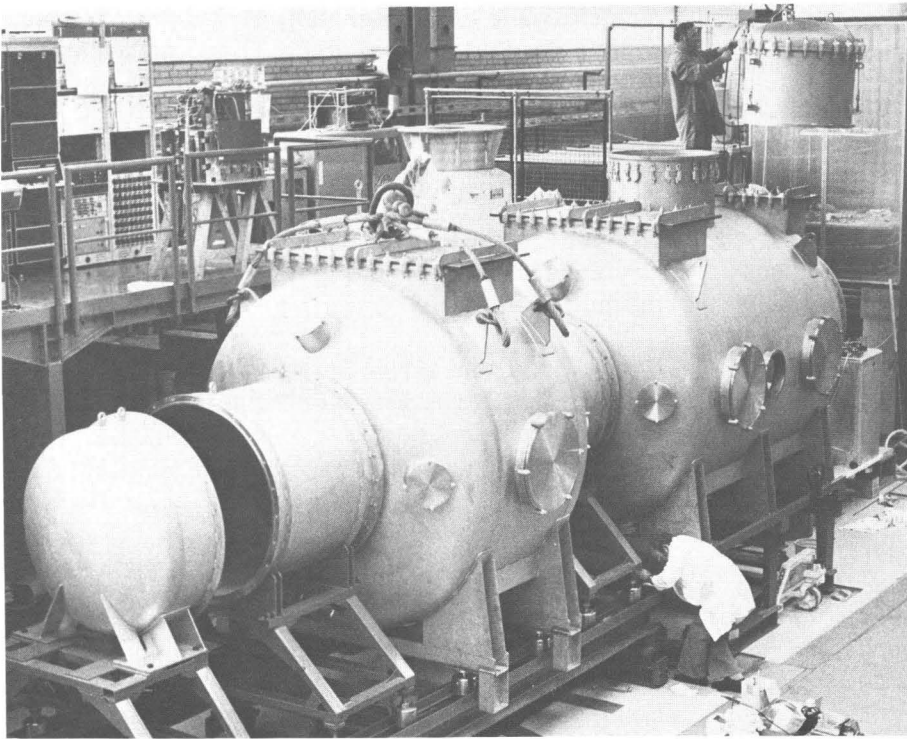


Bild 17

Montage der Neutralinjektions-Teststrecke (TEXTOR/IPP): Die vordere Behältergruppe wurde verschiebbar auf einen Spezialsockel gesetzt, um Zwischenstücke zum Verändern der Teststrecke auswechseln zu können. Deswegen muß das achstreue Verschieben des kleineren Behälters (Mitte) gewährleistet sein. Die rechteckigen Flansche oben dienen der Anbringung von Kryopumpen. Die diversen runden Flansche sind für die Applikation von Versuchs-, Meß- und Diagnoseeinrichtungen vorgesehen.

In dem Vakuumgefäß ist der auf 600°C elektrisch aufzuheizende Liner montiert. Die Erwärmung des Vakuumgefäßes erfolgt zusätzlich auf max. 400°C, so daß zwischen beiden eine Temperaturdifferenz von 200°C nicht überschritten wird.

Das Testgefäß besteht aus ESU-Stahl, d.h. aus elektrisch erschmolzenem austenitischen Cr-Ni-Stahl, Werkstoff Nr. 1.4541. Der aus drei schrägen, gewalzten Sektionen zusammengefügte Grundkörper enthält 18 Flanschöffnungen, die in ihrer Lagezuordnung hohen Genauigkeitsanforderungen genügen müssen. In dieser Hinsicht erforderte insbesondere die rechte Sektion hohe schweiß- und fertigungstechnische Anstrengungen, weil hier mehr als 60 % des Mantelumfanges entfernt und mit einem System von drei ineinandergreifenden längsförmigen Flanschen versehen wurden.

Während es sich bei den kreisförmigen Flanschen meist um CF-Flansche handelt, wurden die rechteckigen und ovalen Flansche zur Erzielung hochgenauer Ebenheit und Oberflächengüte mit Zwischenflanschen versehen ($R_{\max} \leq 5 \mu\text{m}$). Diese sind mit dem jeweiligen Grundflansch durch Lippen-schweißung verbunden, die eine Entkopplung vom Gefäß darstellt und bei eventueller Reparatur wesentliche Vorteile bietet. Die Fertigung wurde aus Kapazitätsgründen an eine Fremdfirma vergeben.

Die gesamte vakuumseitige Oberfläche des Gefäßes ist elektropoliert. Die nach UHV-Bedingungen ausgerichtete Fertigung ergab eine Heliumleckrate $Q_L \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ mbar l/s}$. Auch die geforderte spezifische Abgasrate von $Q_A \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ mbar l/s cm}^2$ wurde eingehalten.

Neutralinjektions-Teststrecke für TEXTOR/IPP

Für Vorversuche zur Neutralteilcheninjektion am TEXTOR wird ein Teststand mit Vakuumbehältern eingesetzt, in denen die experimentelle Erzeugung und Vernichtung beschleunigter Ionen stattfindet (Bild 17). Die Ionen werden aus dem Plasma einer Hilfsentladung abgesaugt, elektrostatisch beschleunigt und in einer Wasserstoff-Gasvorlage bei niedrigem Druck (10^{-3} bis 10^{-4} mbar) durch Ladungsaustausch teilweise neutralisiert. Die Neutralteilchen sowie die magnetisch abgelenkten Ionen werden im Behälter auf gekühlten Prallplatten aufgefangen und dort kalorimetrisch erfaßt. Die Vakuumanforderungen wurden wegen des notwendigen Entfernens des Wasserstoffgases aus Ionenquelle und Gasvorlage gestellt. Zudem sollten die Partialdrücke aller Verunreinigungen einen vernachlässigbar kleinen Effekt haben.

Die diversen Flanschöffnungen sind bedingt durch die Vielzahl von Einbauten, z.B. 10 Kryopumpen, sowie durch die Forderung guten Zugangs zu Testzwecken (Diagnostik u.a.). Durch die Einbringung der Durchbrüche werden in den Behälterwandungen innere Spannungen frei, die zu Verformungen der Behälter führen. Bei der Vielzahl von Durchbrüchen – im kleinen Behälter 14 und im großen 25 – wird die Formstabilität während der Herstellung der Behälterkomponenten bereits erheblich beeinträchtigt. Außerdem erzeugen die nachfolgend erforderlichen Schweißarbeiten, z.B. für die Anschlußstutzen, weitere Deformationen.

Über die gesamte Länge von ca. 9 m mußte die Mittelachse des zusammengefügten Behältersystems in-

nerhalb eines Toleranzzylinders mit 10 mm Radius um die theoretische Mittelachse liegen. Dank qualifizierter Facharbeit einer Fremdfirma betrug der Istwert des Radius nur 2,3 mm. Hohe Genauigkeitsanforderungen wurden an Positionierung und Ebenheit insbesondere der obenliegenden, rechteckigen Flansche gestellt, deren Dichtungsnuten wegen ihrer vorgeschriebenen Toleranz und Oberflächengüte besondere Sorgfalt erforderten. Dadurch ließ sich eine Dichtigkeit mit einer Integral-Leckrate von $\leq 10^{-5}$ mbar l/s erzielen. Die Fertigungsvergabe mußte wegen der großen Dimensionen erfolgen.

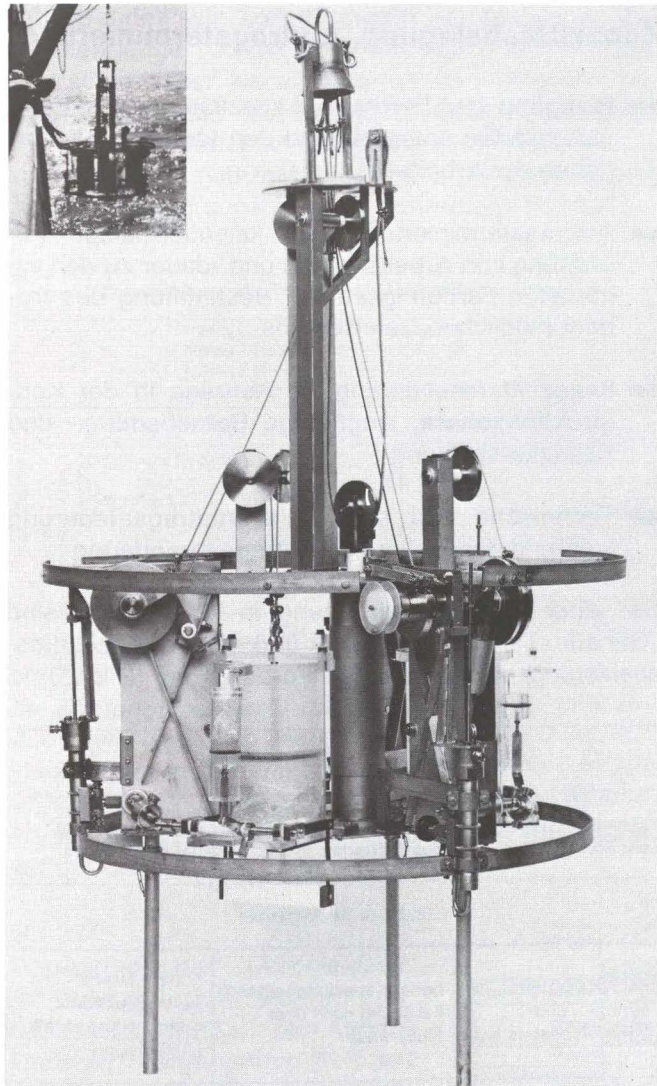


Bild 18
Automatischer Wasserprobennehmer (ICH-4/ZAT) für die kontaminationsfreie Probenentnahme in Wassertiefen von mehr als 100 m zur Bestimmung der Spurenmetalle im Tiefseebereich; oben links: Das Tiefseeprobenentnahmegerät wird nach der Tauchfahrt an Bord gehievt.

Tiefseeprobenentnahmegerät (ICH-4)

Aufgrund mangelbehafteter Probenahmen wurden in der Vergangenheit die natürlichen Schwermetallpegel in Tiefseebereichen zu hoch angesetzt. Das führte zu einer risikoreichen Unterschätzung der maximal zulässigen Toxizität u.a. von Küstengewässern. Als Grund wird die Kontamination der Probe von Oberflächen des Probenschöpfgerätes her angenommen.

Das neue, im ZAT für das ICH-4 entwickelte und aus Termingründen in Fertigungsvergabe hergestellte Tiefseeproben-Entnahmegerät (Bild 18) arbeitet gegenüber früheren Geräten zur Vermeidung von Verunreinigungen dynamisch: Beim Absenken in Wassertiefen von mehr als 100 m wird der Probennehmer während der etwa 20 Sekunden dauernden Probenahme kontinuierlich weiter abgesenkt. Dieses Prinzip garantiert, daß kein Wasser geschöpft wird, das zuvor mit der Struktur des Probennehmers in Berührung gekommen ist. Eine voreinstellbare Mechanik löst in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe den Schöpfvorgang aus und beendet ihn selbsttätig.

Radiofrequenz-Quadrupol (RFQ) der ABT

Der in Tandembauweise gebaute Radiofrequenz-Quadrupol (RFQ) erlaubt die Beschleunigung eines Protonenstrahles von 50 keV auf 2 MeV. Ein RFQ hat dabei die Eigenschaft, den Ionenstrahl gleichzeitig zu fokussieren, in Hochfrequenzpulse zu zerlegen und zu beschleunigen.

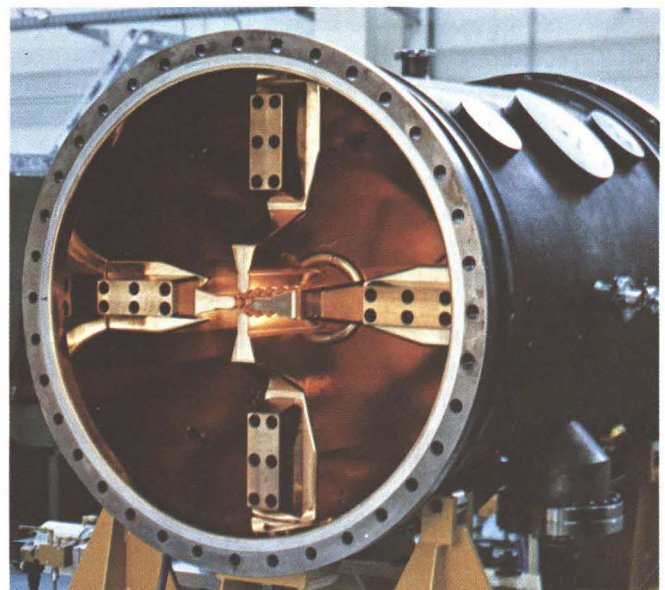


Bild 19
Radiofrequenz-Quadrupol (ABT); der Protonenquelle zugewandte Seite vom 1. Gehäuseteil des dreiteiligen RFQ-Gehäuses mit den beiden sich gegenüberliegenden Elektrodenpaaren. Auf den Elektrodenköpfen längs der Gehäuseachse ist die wellenförmige Modulation erkennbar.

Entsprechend den Auslegungsbedingungen wurde der RFQ (Bild 19) von ABT als Niederenergie-Beschleunigungskavität konzipiert. Hervorstechende Merkmale im Vergleich mit anderen Beschleunigertypen sind der wesentlich größere Gehäuseinnendurchmesser von 684 mm sowie die entsprechende Elektrodenhöhe.

Die hochgenaue HF-Geometrie im Bereich der Elektrodenmodulation längs der Mittelachse muß auch im Vakuum von 10^{-7} mbar und bei einer zu erwartenden Wärmebelastung auf der gesamten inneren Oberfläche von 1000 W/m^2 gewährleistet bleiben. Dies erforderte eine eigenspannungsarme mechanische und schweißtechnische Fertigung der Komponenten und eine sorgfältige Montage.

Die Modulation der Elektrodenoberfläche wurde im Rahmen eines Unterauftrages auf einer NC-Fräsmaschine der TD-MW hergestellt (Bilder 10 und 11). Fertigung, Montage und Prüfung der RFQ erfolgten in Fertigungsvergabe.

Auftragssteuerung

Anforderungen und Aufgaben

- Planung, Steuerung und Kontrolle der Auftrags- und Arbeitsabläufe in der Fertigung, Soll-Ist-Vergleich der Planungsvorgaben mit den Realabläufen während der Fertigung, Planungskorrektur
- Kapazitätsbelegung, Auftragsterminierung
- Materialdisposition
- Zusammenarbeit der Werkstätten

Um eine sinnvolle Kapazitätsnutzung bei möglichst kurzen Auftrags-Durchlaufzeiten zu erwirken, obliegt der Gruppe Auftragssteuerung die Terminierung, Steuerung und Kontrolle der Auftrags- und Arbeitsabläufe in der Fertigung. Durch Soll-Ist-Vergleich der Planungsvorgaben mit den Realabläufen während der Auftragsbearbeitung wird der erforderliche Aktualitätsbezug hergestellt.

Die Auftragssteuerung geht dabei von den Ergebnissen der Arbeitsablaufplanung und der NC-Programmierung aus und veranlaßt die Ausführung der Arbeiten nach den Arbeitsplänen, indem sie Einzelaufgaben, z.B. Drehen, Fräsen, Schweißen, Montieren, Prüfen, als Werkstattauftrag erteilt und dafür sorgt, daß in den Fertigungsstufen die personellen und maschinellen Kapazitäten, die Materialien, die Kaufteile und die Fertigungsinformationen rechtzeitig zur Verfügung stehen.

Ein anderer Aufgabenschwerpunkt ist, zur Zusammenarbeit der internen Werkstätten untereinander wirksam beizutragen und zu helfen, die verfügbaren, aber schrumpfenden Kapazitäten im gegenseitigen Interesse gezielter für die Realisierung der vielseitigen Aufgaben einzusetzen. Die Zusammenarbeit in den letzten Jahren hat gezeigt, daß dies sinnvoll, möglich und notwendig ist. Hier liegen insbesondere wegen der unterschiedlichen Fachkenntnisse und Erfahrungen vorteilhaft nutzbare Ansätze zu einer erweiterten gemeinsamen Aufgabenplanung.

Kapazitätsbelegung, Auftragsterminierung

- Belegung der Fertigungskapazitäten nach Fertigungsstufen entsprechend den technischen Vorgaben der Arbeitsablaufplanung
- Auftragsterminierung, d.h. kalendermäßige Zuordnung von Arbeitsbeginn und -dauer zu den ermittelten Fertigungsstufen, Bestimmung des frühest möglichen Liefertermins
- Kapazitätsreservierung für Aufträge in der Konstruktionsphase, langfristige Betriebsmittel- und Kapazitätsplanung
- Technische und terminliche Auftragssteuerung während der Fertigung, Auftragsabrechnung

Bei jeder Auftragsbearbeitung in Werkstätten sind „Genaue Termineinhaltung“ und „Hohe Kapazitätsauslastung“ konkurrierende Forderungen (Bild 20).

Die Ziele der Auftragssteuerung		
genaue Einhaltung der Termine	kurze Durchlaufzeit des Auftrags	hohe Auslastung der Kapazitäten
und ihre Bedingungen		
hohe Kapazitäts-, Material- und Informationsbestände	hoher Kapazitätsbestand; Fertigung nach dem Flußprinzip	hoher Material- und Auftragsbestand; optimale Kapazitätsabstimmung
sind konkurrierende Forderungen		

Bild 20

Die bei der Kapazitätsbelegung, der Auftragsterminierung und der Auftragssteuerung jeweils zu erfüllenden Bedingungen zeigen, daß konkurrierenden Forderungen entsprochen werden muß. Planungsaufwand und Planungsgüte hängen ab von Anzahl und Qualität der Rückmeldungen über den aktuellen Arbeitsfortschritt.

Die Prototypfertigung stellt dabei besonders hohe Planungsanforderungen. Charakteristisch ist die große Anzahl technisch bedingter, unvorhersehbarer Störungen, die Arbeitsunterbrechungen verursachen. Sie zwingen zur ständigen Überprüfung und Korrektur der Plandaten, wobei gewöhnlich Termin- und Kapazitätsänderungen auf bereits mit anderen Aufträgen belegte Kapazitäten treffen.

Im Mittelpunkt stehen zunächst die Kapazitätsbelegung und die damit zusammenhängende Termin- und Durchlaufzeitermittlung. Hierbei geht es um die möglichst genaue Festlegung der Kalenderdaten, an denen die Werkstattaufträge begonnen, durchgeführt und beendet sein sollen. Wegen der fachlichen Zusammenhänge (Vorgänger/Nachfolger), des Bedarfs unterschiedlicher Kapazitätsarten und aufgrund belegter Kapazitäten durch parallel laufende Aufträge ergeben sich Netzplanstrukturen mit Minstdurchlaufzeiten, die nur durch optimale Auftragsplanung und -steuerung annähernd zu halten sind (Bild 21).

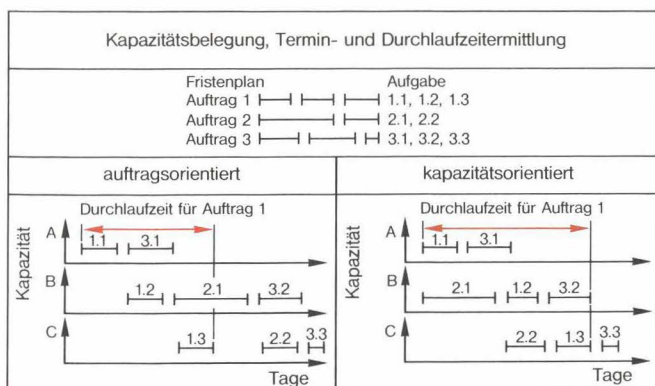


Bild 21

Die Fristenpläne der Arbeitsablaufplanung und der NC-Programmierung werden auftrags- und kapazitätsorientiert in Terminpläne umgesetzt, indem Einzelaufgaben, z.B. Drehen, Fräsen, Schweißen, Montieren, Prüfen, den verfügbaren Kapazitäten zugeordnet und als Werkstattaufträge erteilt werden.

Die Auftragssteuerung hat vor allem Überwachungsfunktion, indem sie entweder die planmäßige Erfüllung oder aber Soll-Ist-Abweichungen feststellt. Treten Abweichungen ein, so sichert sie die weitere Bearbeitung dadurch, daß sie Entscheidungen zur Arbeitsfolge herbeiführt und Plankorrekturen veranlaßt (Bild 22).

Auftragsdurchlaufzeiten sowohl in der Arbeitsvorbereitung als auch in der Fertigung können durch rechtzeitige Kapazitätsreservierung verkürzt werden (Bild 23). Reservierungen sollten jedoch erst dann veranlaßt werden, wenn sich z.B. in der Abschlußphase der Konstruktion die wichtigsten Fertigungsstufen erkennen und hinsichtlich ihres Aufwands abschätzen.

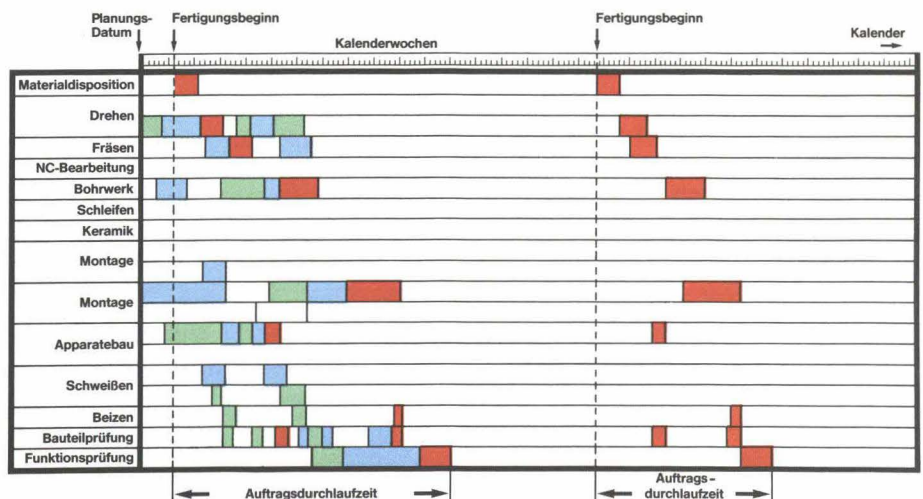


Bild 22

Während die Grobterminierung mit einem Planungshorizont von bis zu einem Jahr arbeitet, überwacht die Feinsteuerung im Meisterbüro den aktuellen Bearbeitungsstand über einen Zeitraum von vier bis sechs Wochen. Dadurch läßt sich der Umplanungsanfang in erträglichen Grenzen halten, wenn Störungen des Fertigungsablaufs zu Plankorrekturen zwingen.

Bild 23

Verkürzung der Durchlaufzeit: Der zuletzt erteilte Auftrag (rot, links im Bild) trifft auf den Kapazitätsbedarf eingeleiteter Aufträge (grün, blau). Er kann wegen seiner technisch und zeitlich voneinander abhängigen Fertigungsstufen nur in die bestehenden Kapazitätsfreiräume eingeplant werden, was zu einer längeren Auftragsdurchlaufzeit führt. Sieht man von Prioritätsentscheidungen in begründeten Einzelfällen ab, dann ist die Durchlaufzeit nur zu verkürzen, wenn während der Endphase der Konstruktion der Kapazitätsbedarf abschätzbar ist und eine Kapazitätsreservierung erfolgt (rot, rechts im Bild).



bei Überwachungsbedürftigen Geräten und Apparaturen

Materialdisposition

- In- und externe Beschaffung sowie Bereitstellung der benötigten Fertigungsmaterialien, Werkzeuge und Kaufteile in der erforderlichen Qualität, Menge und Zeit
- Beschaffung und Bereitstellung der Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen nach DIN 50049

- Bestellabwicklung, Eingangskontrolle, Materialbereitstellung für die Fertigung

Die zügige Fertigung im Prototypenbau erfordert in ganz besonderem Maße eine sach- und termingerechte Beschaffung und Bereitstellung der Werkstoffe und Kaufteile.

Aufgrund der großen Werkstoffvielfalt bei den benötigten Halbzeugen und wegen der verhältnismäßig geringen Bestellmengen entstehen oftmals Bearbeitungs- und Lieferfristen, die eine frühest mögliche Disposition erfordern.

Inspection Certificate **FORM 66787** **1043**
Abnahmeprüfzeugnis
 (DIN 50 049 - S. 1B)

SAMMI STEEL CO., LTD.

Head Office : P.O. BOX 7638, Seoul
 Changwon works : P.O. BOX 312, Meseo
 Ulsan works : Yecheon-Dang, Ulsan

Customer - Besteller **14072850** Order No. - Bestell-Nr. _____ Date - vom _____ Inspection No. - Prüf-Nr. _____

SCHMELZ BICKENBACH (GERMANY) P4F-4014-4 12.11.1965 S1376
 Works No. - Works Nr. _____ Material - Werkstoff _____ Technical requirements/Demand -
 Prüfrichtlinie/Anforderungen _____ Edition - Ausgabe _____

ER-J3370-000 X10CRNiTi 18 9 / DIN 17440/AD-MERKBLATT W2 12.1972
 Article - Gegenstand _____ Melting process - Erschmelzungsart _____ Marking - Kennzeichnung _____
 Brand of the manufacturer -
 Herstellerzeichen _____ Material - Werkstoff _____

FLAT BAR U.O.O.
 State of delivery - Lieferzustand _____

SOLUTION TREATED AND WATER QUENCHED

1.4541
 HEAT NO. 1
 TEST NO. 1

Dessin No. - Dindef-Nr.	Number of Qt. Stückzahl	Dimensions - Abmessungen		Weight - Masse		Test No. - Probe-Nr.
		Thickness - Dicke mm	Width - Breite mm	kg	lb	
51-21450	128	10X 30 MM	3-4M	1090	2403	3700-1, 2, 3

Heat No. - Schmelz-Nr.	Chemical Composition of Cast - Chemische Zusammensetzung/Schmelzenanalyse (W%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
A22348	.05	.52	1.28	.027	.010	10.28	17.10	.40

Test type - Prüftyp : _____
 Specimen type - Probenart : _____
 State of delivery of specimen - Probenzustand : _____

**TENSILE TEST : DIN 50145
 E10X25 DIN 50125**

Test No. Probe-Nr.	Dim. of specimen Probenabmessung		Specimen Probenbezeichnung		Test temperature Prüftemperatur °C	Yield point Proof stress Streck- Dehngrenze N/mm ² Rp	Tensile strength Zugfestigkeit N/mm ² Rm	Elongation Bruchdehnung %	Reduction of area Bruchminderungs- grad	1-1) 2- (kg/m) : Energy of impact : Schlagenergie 3- (J/cm) : 4- (J/cm) : 5- (J/cm) : Impact strength : Karzschlagfestigkeit 6- (J/cm) : Transversal impact energy							
	Thickness Dicke mm	Width Breite mm	Position Lage	Position Lage													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
3700-1	10.20	25.35	L	S	RT	230	267	573	54.0			6	154	155	155	155	
3700-2	10.20	25.30	L	S	RT	250	282	596	52.0			6	159	157	159	158	
3700-3	10.20	25.30	L	S	RT	256	282	599	52.0			6	160	161	161	161	

Additional remarks - Zusätzliche Angaben _____

DEGREE OF PURITY : ACCEPTED
 I.e., TEST ACCORDING TO DIN 50914 : OK
 VISUAL INSPECTION: NO REMARKABLE FAILURE
 DIMENSION CHECK: WITHIN TOLERANCE

CONFUSION TEST : OK

Lauf Schreiben Ws/Zt vom
 17.8.82 des TÜV - Hannover wird
 auf Gegenzzeichnung verzichtet ✓

We hereby certify, that the material described above has been tested and complies with the terms of the order contract.
 Es wird bestätigt, daß die Lieferung geprüft wurde und den Vereinbarungen der Bestellannahme entspricht.

L = Longitudinal - Längs T = Transverse - Querschnitt
 S = Surface - Oberfläche A = Beginning - Anfang
 E = End - Ende B = Bottom - Fuß
 RT = Room temperature - Raumtemperatur

1/2 1/3 1/4 - 1/2 1/3 1/4 of Diameter K = Top - Kopf

44.02.1965
 Date - Datum _____
 Inspector - Sachverständiger _____

KFA-Jährlich Erteilt
 TÜV-Mitteldeutschland
 Geprüft
 19.11.87

Bild 24
Bescheinigung über Werkstoffprüfung nach DIN 50049-3.1 B und Nachweis für Reaktormaterial (RM)

Hauptaufgabe der auftragsbezogenen Materialdisposition und -beschaffung im Vorfeld der Fertigung ist deshalb, die Material- und Kaufteile-Bereitstellung hinsichtlich Menge, Qualität und Termin so zu veranlassen, daß der Fertigungsvorgang planmäßig und ungestört erfolgen kann.

Hierzu gehört auch die Beschaffung der vielen unterschiedlichen, oftmals nur sehr schwierig erhältlichen Werkstoffnachweise und Prüfsertifikate, die für Herstellung und Betrieb kerntechnischer Anlagen sowie für andere abnahmepflichtige Forschungsgeräte und -apparaturen zwingend erforderlich sind (Bild 24).

Technisch betreuende Tätigkeiten wie Bestellabwicklung, Wareneingangskontrolle, Kontrolle der Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen, Lieferterminüberwachung und ordnungsgemäße Materialbereitstellung gehören damit ebenfalls zu den Anforderungen an die Materialbeschaffung. Sie sind Gewähr für eine reibungslosere und wirtschaftlichere Fertigung.

Zusammenarbeit der Werkstätten

- Anforderungsgerechte Entwicklung der mechanischen Fertigungskapazitäten und abgestimmte Auftragsbearbeitung in den mechanischen Werkstätten entsprechend dem fachlichen und zeitlichen Bedarf
- Beratung und Mitwirkung bei Kapazitätsgestaltung und -einsatz für die anforderungsgerechte Auftragsabwicklung
- Förderung von Schwerpunkten spezieller experimentorientierter Fertigungsleistungen, Organisation des Informations- und Datenflusses
- Beratung und Mitwirkung bei der Beschaffung, Umsetzung und Aussonderung von Werkzeugmaschinen und anderen Werkstatteinrichtungen
- Erarbeitung und Anwendung optimaler Maschinen-, Werkzeug- und Zerspanndaten
- Koordination und Abwicklung des Monteureinsatzes und Reparaturdienstes für Werkstatteinrichtungen

Die aus der Arbeit an den experimentellen Forschungsvorhaben entstehenden technologischen, kapazitätsmäßigen und organisatorischen Fertigungsanforderungen an die mechanischen Werkstätten sind Wandlungen unterworfen, denen durch geeignete Anpassung zu entsprechen ist. Sie kann sowohl die technische und personelle Ausstattung als auch die Auftragsabwicklung betreffen.

Außer den berechtigten Einzelinteressen müssen dabei auch übergeordnete, gesamtbetriebliche Gesichtspunkte berücksichtigt werden, um eine anforderungsgerechte Entwicklung der mechanischen Fertigungskapazitäten und -techniken zu gewährleisten. Hierzu gehört auch die bedarfsgerechte Auftragsbearbeitung und -abwicklung, die eine übergreifende fachliche und terminliche Abstimmung erfordert. Dies setzt eine Beratung und Mitwirkung der Beteiligten in enger Zusammenarbeit voraus, die dabei über einen einheitlichen Informationsstand verfügen müssen, um gemeinsame Zielvorstellungen entwickeln und verwirklichen zu können.

Die Förderung spezieller, experimentorientierter Fertigungsleistungen ist in einzelnen Werkstattbereichen dann erforderlich, wenn es sich um besondere institutstypische Aufgaben handelt oder wenn sich ein gemeinsamer Bedarf an technisch ähnlichen Werkstattleistungen für experimentelle Arbeiten an F + E-Vorhaben mehrerer Institute abzeichnet.

Im Bereich der Betriebsmitteltechnik, d.h. bei der Nutzung, Beschaffung, Umsetzung und Aussonderung technischer Werkstatteinrichtungen müssen Beratung und Mitwirkung seitens der Fertigungsplanung ebenfalls dazu dienen, übergeordneten, gesamtbetrieblichen Erfordernissen Geltung zu verschaffen. Hier hat sich in den letzten Jahren eine besonders enge Zusammenarbeit entwickelt, die es in vielen Einzelfällen ermöglichte, objektive Beschaffungskriterien bis hin zu anwendungsbezogenen Bestellspezifikationen und Abnahmeprüfungen für Werkzeugmaschinen zu erarbeiten und anzuwenden, wodurch die Auswahl von Maschinen mit anforderungsgerechter Arbeitsgenauigkeit und Ausstattung wesentlich verbessert wurde.

Die engere Zusammenarbeit sollte auch in Zukunft dazu führen, daß praktisch ungenutzte Maschinen dorthin umgesetzt werden können, wo sie dringend benötigt werden. Für die abgebende Werkstatt sind dabei meist Vorteile für andere Fertigungsbereiche erreichbar. Inzwischen werden umzusetzende bzw. auszusondernde Maschinen generell nach einheitlichen internen bzw. DIN/ISO-Prüf- und -Abnahmespezifikationen hinsichtlich ihres technischen Zustandes überprüft, um belastbare Informationen und Daten für die interne Weiterverwendung oder externe Verwertung zu erhalten.

Koordination und Abwicklung des Werkzeugmaschinen-Reparaturdienstes und Monteureinsatzes verlaufen praktisch reibungslos und tragen erheblich zur Reduzierung vor allem der Wegekosten bei. Eine Verringerung der maschinellen Bearbeitungszeiten kann die Nutzung von Schnittwert-Datenblättern bringen, die werkstoffbezogen eine schnelle Übersicht über optimale Maschinen-, Werkzeug- und Zerspanndaten geben.

Schweißtechnik (TD-MW/S)

Anforderungen und Aufgaben

- Herstellung und Prüfung von Geräten, Apparaturen und Stahlbauten einschließlich Überwachungsbedürftiger Anlagen für den Forschungs- und Betriebsbereich
- Schweißfachingenieur-Büro
- Schweißerei und Löttechnik
- Apparate- und Stahlbau
- Fertigungsprüftechnik
- Schweißtechnische Aus- und Weiterbildung

Die Schweißtechnik hat technische und organisatorische Problemstellungen zu lösen, die in allen Phasen der Herstellung von Geräten, Apparaturen und Stahlbauten für Forschungs- und Betriebseinrichtungen entstehen. Bereits während der Entwicklung und Konstruktion müssen alle Fragen der Werkstoffeinigung, der Arbeitsverfahren, der Prüfung und der Zulassung, z.B. TÜV-Abnahmen, für die nachfolgende fügetechnische Fertigung ingenieurmäßig planend geklärt werden. Die Einhaltung der dabei getroffenen fertigungstechnischen und arbeitsablauforganisatorischen Festlegungen ist durch die Schweißüberwachung und Schweißaufsicht sicherzustellen.

Wenn sicherheitstechnisch relevante Betriebsdaten vorliegen, müssen z.B. bei Druckbehältern und Rohrleitungen rechtsverbindliche technische Regeln zur Qualitätssicherung von Schweißverbindungen angewandt werden. Das Schweißfachingenieur-Büro hat dabei durch planende, gestaltende und prüfende Einflußnahme auf die Arbeitsabläufe sicherzustellen, daß die gesetzlichen und die betrieblichen Vorschriften eingehalten werden. Eine besondere Bedeutung haben die qualitätssichernden Maßnahmen vor Beginn der Fertigung, zu denen die Schweißer- und Verfahrensprüfungen sowie die Arbeitsproben zählen (s. auch Seite 110).

Die Schweißerei und Löttechnik führt alle fügetechnischen Arbeiten zur Herstellung und Reparatur von Experimentier- und Betriebseinrichtungen aus. Hierzu gehören auch die zerspanenden und verformenden Arbeiten zur Herstellung der Schweiß- und Lötnahtformen. Die angewandten schweiß- und löttechnischen Verfahren sind in erster Linie das manuelle und teilmechanisierte Schmelzschweißen [26] sowie das Weich- und Hartlöten. Beim Schweißen dominiert das WIG-Verfahren, beim Löten das Hartlöten mit hochsilberhaltigen Loten [26,27,28,29]. Erforderliche Schutzgas-, Vakuum- und Hochtemperatur-Lötarbeiten

werden auftragsbezogen geplant und vorbereitet, die Lötarbeiten selbst erfolgen teilweise noch extern.

In der Gruppe Apparate- und Stahlbau überwiegt die Herstellung von Apparaturen, Behältern und Stahlbauten. Für die Blech- und Profilmbearbeitung sind Bearbeitungsverfahren wie Abkanten, Biegen, Rundwalzen, Stanzen, Trennen und Schweißen erforderlich. Glüh- und Richtarbeiten sind meist notwendig, um Bauteile spannungsarm zu machen und hohe Genauigkeiten für die Weiterverarbeitung zu erzielen.

Die Qualitätssicherung der Arbeiten wird in der Fertigungsprüftechnik durch Qualitätsprüfung der in der Fertigung befindlichen bzw. hergestellten Bauteile fortgesetzt. Sie besteht aus Fertigungs-, Bau- und Funktionsprüfungen und muß bei fast allen Komponenten der Versuchseinrichtungen durchgeführt werden.

Schweißfachingenieur-Büro

- Schweißtechnische Beratung bei der Planung und Herstellung experimenteller und betrieblicher Geräte, Apparaturen und Anlagen
- Qualitätssicherung der Schweiß- und Lötarbeiten während der Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Prüfung
- Vorbereitung der technischen Zulassungen und Durchführung von Genehmigungsverfahren
- Schweißtechnische Überwachung der Fertigung
- Sachkundiger nach § 32 Druckbehälterverordnung
- Schweißfachbetrieb für den Druckbehälter- und Stahlbau nach AD-Merkblatt HP 0 und DIN 18800

Die schweißtechnische Beratung in allen Phasen der Entstehung sicherheitstechnisch relevanter bzw. überwachungsbedürftiger technischer Einrichtungen ist ein Teil der vom Schweißfachingenieur-Büro wahr-



Bild 1

Hohe Anforderungen an Schweißnähte werden durch besondere Betriebsdaten, durch die konstruktive Gestaltung der Verbindung und durch die mechanischen und thermischen Eigenschaften der beteiligten Werkstoffe bestimmt. Sie beeinflussen auch die Anforderungen an den Hersteller und den Umfang der Kontrollen und Prüfungen vor, während und nach der Fertigung (Bild 2).

Eignung	Qualitätsnachweis	Vorschrift	KFA-spezifisch
Grundwerkstoff	Werkstoffbegutachtung (Zulassung) Abnahme der Erzeugnisform Verfahrensprüfung	AD-W 0 VdTÜV-Werkstoffblatt DIN-Norm, AD-HP 2/1	KFA Norm 971-420, Qualitäts- sicherungs- vorschrift QSV 1 der TD-MW
Wärmeein- flußzone	Schweißsimulation Verfahrensprüfung	AD-W 0 VdTÜV-Werkstoffblatt AD-HP 2/1	
Schweißgut	Eignungsprüfung Abnahmeprüfung Chargenprüfung Verfahrensprüfung	VdTÜV-Kennblatt VdTÜV-Kennblatt VdTÜV-Kennblatt AD-HP 2/1	
Hersteller	Herstellungsbegutachtung Schweißüberwachung und Prüfaufsicht Schweißaufsicht des Betriebes Schweißerprüfung Vorprüfung der Herstellungsunterlagen	DIN 8563, AD-HP 0, DIN 18800 AD-HP 3, AD-HP 4 AD-HP 3 DIN 8560, DIN 8561 AD-HP 1	
Fertigung	Parameteraufschreibung Schweißprotokolle Betriebliche Schweißaufsicht Schweißüberwachung Bauüberwachung durch Sachverständige Zerstörungsfreie Prüfung	KTA KTA AD-HP 3 AD-HP 4 GWO § 24, TRB, TRD u.a. AD-HP 5	

Bild 2

Auf der Basis übergeordneter Vorschriften sind bei Schweißarbeiten mit besonderen Anforderungen Technische Regeln zur Qualitätssicherung von Schweißverbindungen anzuwenden. Sie betreffen sowohl die Eignung der Werkstoffe und der Schweißverfahren als auch die fachliche und organisatorische Eignung des Herstellers und müssen deshalb schon während der Konstruktion berücksichtigt werden.

zunehmenden Aufgaben der Qualitätssicherung. Sie umfaßt sowohl die geplanten als auch die ausgeführten fügetechnischen Arbeiten. Außer der mechanischen und thermischen Werkstoffeignung, der konstruktiven Eignung der Verbindungsstellen ist auch

die Eignung der Schweißverfahren (Bild 1) und die fachliche Qualifikation der Werkstatt zu überwachen (Bild 2). Durch Prüfungen ist nachzuweisen, daß das erforderliche Arbeitsergebnis erzielt wurde (Bild 3).

Bild 3

Mit Verfahrensprüfungen durch den TÜV ist die Eignung der Grund- und Zusatzwerkstoffe, der Schweißverfahren, der Werkstückgeometrie sowie der Verarbeitungsbedingungen nachzuweisen. Die Arbeitsproben sind so gestaltet, daß auch die technische und organisatorische Eignung des Herstellers und seines Fachpersonals erfaßt werden. Wegen der vielen unterschiedlichen Anforderungen sind für die Belange der KFA etwa 35 Verfahrensprüfungen verfügbar zu halten.

Anlage 1 Blatt 3 zum Schreiben vom 17.5.1984

an die Firma Kernforschungsanlage Jülich

TD-MW

Lfd. Nr.	begutachtete Grundwerkstoffe	eignungsgeprüfte Schweißzusätze Marke u. ggf. Typbezeichnung nach DIN	Schweißverfahren nach DIN 1910	Vor-schalt-ly	Größen				Besondere Hinweise	Datum der letzten Überprüfung
					Positionen nach DIN 1912 Teil 2	Abmessungen mm	Wärme-behandlung	Wand-temperatur °C		
9	Gruppe 4.1 gem. AD-HP2/1 Tafel 1	zugelassene Schweißstäbe gem. DIN 8556	WIG	HP2/1 TRD20	w a u q	Rohrø 55 s: 1-20	U	Grdw. bzw. Zusatz max. -196	Ohne Gegenschweißung ist bei der Wurzelschweißung mit Wurzelschutz (Pormiergas) zu schweißen.	06.81 04.84 TU 9
10	Gruppe 4.1	SGX5CrNiNb199vWIG DIN 8556	vWIG	HP2/1 TRD20	w	Rohrø 27 s: 1, 1-2, 3	U	Grdw. bzw. Zusatz max. 400	WIG-Schweißung Elektrode feststehend Werkstück in Drehvorrichtung	12.65 TU 9
27	AlMg3	S-AlMg3 DIN 1732	WIG	HP2/1	w q	Rohrø 66 s: 9,5-20	-	Grdw. max. 150	Vorwärmung 300°C	11.66 TU 9
28	AlMg3	S-AlMg3 DIN 1732	vWIG	HP2/1	w	Rohrø 45 s: 5,7 - 7,5	-	Grdw. max. 150	WIG-Schweißung Elektrode feststehend Werkstück in Drehvorrichtung	11.66 TU 9

Die Konstruktion muß schweißtechnisch sicher gestaltet werden und die Fertigung mit dem gewählten Schweißverfahren ausführbar sein [27,28]. Die Klärung von Schweißproblemen bezieht sich aber auch auf die günstigste Wärmeeinbringung. Um Maßabweichungen infolge Eigenspannungen gering zu halten, muß die optimale Wärmezu- und -abfuhr gesichert werden. Die Prüfbarkeit der Verbindungen während und nach der Fertigung ist einer der wichtigsten Gestaltungsgesichtspunkte. Hierzu erfolgt die Festlegung von schweiß- und prüftechnischen Daten und Arbeitsgängen in Fertigungs- und Prüffolgeplänen (Bild 4, Seite 42).

Der Gesetzgeber verlangt vom Hersteller Überwachungsbedürftiger Anlagen die Anerkennung als Schweißfachbetrieb. Ein Betrieb muß sich dazu einer

Betriebsprüfung durch eigens dazu beauftragte Dienststellen unterziehen, die in regelmäßigen Abständen wiederholt wird. Sie schließt auf der Basis gültiger Verfahrensprüfungen (Bild 3) die Überprüfung der Werkstatteinrichtung und der fachlichen Ausbildung des Schweißpersonals (Bild 4) mit ein. TD-MW besitzt Befähigungsnachweise nach DIN 18800 für den Stahlbau (Bild 5) und DIN 8563 bzw. AD-Merkblatt HP 0 für den Druckbehälterbau (Bild 6), ohne die die Anforderungen der KFA an die mechanischen Werkstätten nicht erfüllbar wären.

Zur technischen Zulassung eines Vorhabens und für die Durchführung des dazu notwendigen Genehmigungsverfahrens werden die Fertigungsunterlagen dem amtlich hinzugezogenen Sachverständigen (meistens TÜV) zur Vorprüfung eingereicht. Die Ferti-



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH
GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG

Prüfungsbescheinigung nach DIN 8560

Die Prüfung erfolgte im Einvernehmen mit dem Sachverständigen des TÜV Rheinland e.V.

Herr Wilfried Klotz Kontroll-Nr./Zeichen *) K 17 J
geb. am 22.05.1951 in Eschweiler
unterzog sich im Auftrag der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, TD-MW
am 25.01.1984 der Prüfung (Wiederholungs-Prüfung *)
in der Prüf- und Untergruppe SG-K IV B m nach DIN 8560
Schweißverfahren W I G
evtl. getrennt für Wurzel-, Zwischen- und Decklagen
Grundwerkstoff 1.4541 $s =$ 6 mm $d =$ 121 mm
(Bezeichnung nach DIN bzw. Werkstoff-Nr. oder Firmenbezeichnung, Werkstoffdicke s , Rohrdurchmesser d)
Zusatzwerkstoff 2.4806 Ø 1,6 mm NRC9 "Firma Messen-Griesheim"
(Bezeichnung nach DIN bzw. Werkstoff-Nr. oder Firmenbezeichnung)
Hilfsstoffe Argon
(Schutzgase, Schweißpulver)
Vorwärmung -- °C
Wärmenachbehandlung -- °C und -- min
Bemerkungen V-Naht Mehrlagenschweißung mit Argonspülung
(Einschränkungen, Besonderheiten)
1 Rohr Zwangslage Pos. w-s-u 1 Rohr-Überlappung als
1 Rohr Zwangslage Pos. q Kohlnaht Pos. h + s

Rath
Schweißfachperson
(Unterschrift)

Zur Prüfungsbescheinigung gehört der Bewertungsbogen Nr. 493

Prüfungsergebnisse

Praktische Prüfung: erfüllt Gesamturteil: erfüllt
Fachkundliche Prüfung: erfüllt

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH
GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG

Datum der Ausstellung 17.07.1984

772
Dipl.-Ing. Kampfmeyer
Schweißfachingenieur
(Unterschrift)

*) Nichtzutreffendes ist zu streichen

A. Hackmann Dipl.-Ing. Dooße
Ass. Hackmann

Postanschrift: KFA Jülich GmbH · Postfach 19 13 · D-5170 Jülich

Bild 4

Für Schweißarbeiten an überwachungsbedürftigen Geräten und Anlagen dürfen nur zugelassene Schweißer eingesetzt werden. Der Nachweis muß durch Prüfung nach DIN 8560 und 8561 im Einvernehmen mit dem Sachverständigen des TÜV erfolgen. Grundlage dafür sind die Arbeitsproben und Verfahrensprüfungen nach AD-Merkblatt HP 2/1 zur fachlichen und organisatorischen Eignung des Herstellers (Bilder 3 und 7).

gungsverfahren werden gewöhnlich ergänzt durch einschlägige Erfahrungen mit überwachungsbedürftigen Forschungs- und Betriebseinrichtungen. Für den Zeitaufwand des Genehmigungsverfahrens entscheidend ist eine rechtzeitige Absprache der Vorprüfmodalitäten mit dem Schweißfachingenieur-Büro.

Die Qualitätssicherung von Schweiß- und Lötarbeiten ist je nach Bauteil unterschiedlich aufwendig. Der Umfang wird durch die Betriebsdaten und vom Verwendungszweck bestimmt.

Nach der Druckbehälterverordnung müssen alle drucktragenden Behälter vor der Inbetriebnahme ei-

ner Abnahmeprüfung unterzogen werden. Bestimmte Behälter brauchen dabei nicht von einem Sachverständigen (z.B. TÜV) abgenommen zu werden. Die Abnahme kann durch eine sachkundige Person des Betreibers bzw. Herstellers erfolgen. Diese Aufgabe des Sachkundigen nach § 32 Druckbehälterverordnung wird vom Schweißfachingenieur-Büro wahrgenommen.

Das Schweißfachingenieur-Büro unterhält ständig Verbindung zum TÜV (zusammen mit ASS), zur Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt (SLV) und zum Deutschen Verband für Schweißtechnik (DVS).



SCHWEISSTECHNISCHE LEHR- UND VERSUCHSANSTALT DUISBURG

DES DEUTSCHEN VERBANDES FÜR SCHWEISSTECHNIK e. V.

POSTF. 10 02 01 · BISMARCKSTR. 85 · 4100 DUISBURG 1 · TELEFON (02 03) 37 81-0 · TELEX 8 551 331 slvd d

- anerkannte Stelle für den Nachweis der Eignung zum Schweißen -



Großer Eignungsnachweis


Dem Unternehmen	Kernforschungsanlage Jülich GmbH
wird für den Betrieb in	5170 Jülich, Waldstraße
bescheinigt, daß er geeignet ist, Schweißarbeiten im folgenden Anwendungsbereich durchzuführen:	
Normen/Vorschriften	DIN 18 800 Teil 7 Stahlbauten mit vorwiegend ruhender Beanspruchung
Schweißverfahren	Lichtbogenhandschweißen (E) teilm. Metall-Schutzgasschweißen (tMAG)
Grundwerkstoffe	St 37, St 52 und Stähle nach DIN 18 800 Teil 1, Ziffer 2.1.1a
Einschränkungen, Erweiterungen	keine
Schweißaufsichtsperson (Name, Vorname, Geburtsdatum, Beruf)	Dipl.-Ing. Kampffmeyer, Hans-Jörg, geb. 21.10.40, SFI (DVS)
Vertreter (Name, Vorname, Geburtsdatum, Beruf)	Dipl.-Ing. Westerhausen, Wolfgang, geb. 12.03.50, SFI (DVS)
Bemerkungen	Zuordnung der Anwendungsbereiche des Eignungsnachweises s. Tabelle 1 der beigegeführten Anlage.
Geltungsdauer	20. August 1989
Eignungsbescheinigung Nr.	87.112
ausgestellt am	5. Februar 1987 Zesig/Ms
Allgemeine Bestimmungen siehe Rückseite	Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Duisburg  Unterschrift(en)

Bild 5

Die KFA ist mit der Betriebsabteilung TD-MW Inhaber des großen Eignungsnachweises nach DIN 18800 (früher DIN 4100). Er beinhaltet die Zulassung von Schweißarbeiten für Herstellung und Reparatur von experimentellen und betrieblichen, nach den Einsatzbedingungen überwachungsbedürftigen Stahlbauten. Die Zulassung wird von der SLV des DVS nach eingehender Betriebsprüfung ausgesprochen.



Bild 6
Für den Bau von Druckbehältern und Rohrleitungen mit sicherheitsrelevanten Betriebsdaten ist eine Hersteller-Zulassung nach AD-Merkblatt HP 0 erforderlich, die vom TÜV erteilt und fallweise überprüft wird. Die KFA ist mit TD-MW im Besitz dieser Zulassung seit 1963.

Schweißerei und Löttechnik

- Schweiß- und Lötarbeiten während der Fertigung und Montage, Ausführung aller Schweißarbeiten mit besonderen personellen und technischen Anforderungen
- Werkstattfertigung

Autogenes Gasschweißen und Löten	Düsendurchmesser 0,1-3,7 mm
Lichtbogenschweißen mit der Stabelektrode	Stromstärke 20-500 A
Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)	Stromstärke 1-500 A
Metall-Schutzgas-Schweißen (MSG/MAG)	Drahtdurchmesser 0,6-1,6 mm
H ₂ -O ₂ -Micro-Gasschweißen	Düsendurchmesser 0,1-0,7 mm
- Schutzgasschweißen im Verlauf der mechanischen Fertigung
- Schweißarbeiten an Experimenten und großen Anlagen vor Ort
- Durchführung von Schweißerprüfungen nach DIN 8560 und 8561, Arbeitsproben und Verfahrensprüfungen nach AD-Merkblatt HP 2/1

Schweißarbeiten während der Werkstattfertigung und -montage sowie Schweiß-Montagearbeiten vor Ort stellen häufig sehr unterschiedliche verfahrenstechnische Anforderungen. Bei der Werkstattfertigung handelt es sich meist um die unmittelbare Durchführung von Schweißarbeiten mit den zugehörigen Prüfungen im Zuge der maschinellen und manuellen mechanischen Weiterverarbeitung von Einzelteilen zu Baugruppen oder deren Montage. Häufig müssen Einzel-

und Anpaßteile oder dünnwandige Rohre aus austenitischen und ferritischen Werkstoffen, seltener aus Aluminium, verarbeitet werden. Hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades überwiegen Werkstoff- und Geometriedaten der Teile und Baugruppen sowie arbeitsablauforganisatorische Fragen der Fertigung und Prüfung.

Bei Schweißarbeiten vor Ort kommen meist Einflüsse der Umgebung und des Betriebes der Anlage hinzu, die durch Schmutz-, Gefahren- und Erschwerniskriterien gekennzeichnet sind. In beiden Fällen sind häufig Verfahrensprüfungen für die Werkstoffpaarungen und geprüfte Schweißer erforderlich (Bilder 4 und 7).

Die fertigungstechnischen Anforderungen an Schweiß- und Lötarbeiten während der Fertigung und Montage werden vorwiegend durch die Konstruktion und die Betriebsbedingungen des Bauteiles, aber auch durch die Werkstoffe der zu verbindenden Teile bestimmt. Einer besonders sorgfältigen schweiß- und löttechnischen Bearbeitung bedürfen die Vergütungsstähle sowie hochlegierte Cr-Ni-Stähle mit weniger als 3 % Restferritanteil und Ni-Basislegierungen. Diese Werkstoffe werden in Experimentieranlagen für den Forschungsschwerpunkt Hochtemperatur-Energietechnologie eingesetzt (Bilder 8 bis 11). Bei den Vergütungsstählen besteht durch den Wärmeeinfluß beim Schweißen die Gefahr der Aufhärtung und damit Versprödung der Bauteile. Bei hochlegierten Cr-Ni-Stählen mit weniger als 3 % Restferritanteil und auch bei Ni-Basislegierungen ist die Heißrißanfälligkeit sehr groß.

Einer umsichtigen Wärmebehandlung beim Schweißen und Löten bedürfen auch die übrigen hochlegierten Cr-Ni-Stähle und Al-Legierungen, die für Reaktor-

Verfahren	Halbzeug bzw. Schweißposition	Werkstoff	Wanddicke
WIG	R	IV A	g
G = Gas E = Elektro WIG = Wolfram-Inert-Gas MAG = Metall-Aktiv-Gas	B = Blech (w,s,h) R = Rohr (w,s,q,ü,h) Hinweis: R schließt B mit ein	I = Stähle ohne Vor- und Nachwärmung z.B. St 37-2, St 52-3 II = Stähle mit evtl. Vorwärmung, z.B. 15 Mo 3, Feinkornstähle sowie Gruppe I III = Stähle mit Vor- und Nachwärmung, z.B. Vergütungsstähle 13CrMo44 und 10CrMo910 sowie Gruppe I und Gruppe II IVA = Austenitische Stähle mit > 3 % Ferritgehalt, z.B. 1.4541 IVB = Austenitische Stähle mit < 3 % Ferritgehalt, z.B. 1.4876	f = fein, < 3 mm m = mittel, 2,5-6,5 mm g = grob, > 6 mm
		Al = Aluminium Cu = Kupfer Ni = Nickel	Die Wanddickenangabe entfällt hier

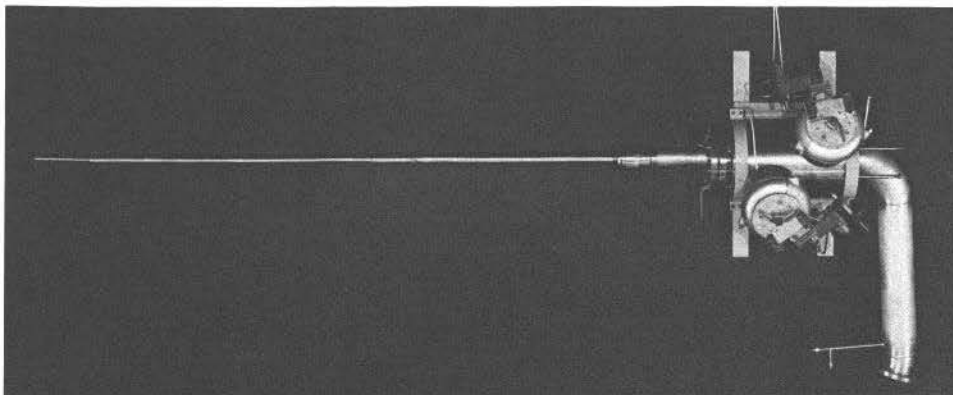
*Bild 7
Schweißerprüfungen
nach DIN 8560 und 8561
als qualitätssichernde
Maßnahmen in der
schweißtechnischen Fer-
tigung und Ausbildung.
Übersicht über die
wichtigsten, in der KFA
benötigten Nachweise.*

komponenten und Laborexperimente eingesetzt werden. Für sie spielen Korrosionsbeständigkeit bzw. besondere physikalische Eigenschaften nach vakuum- und tieftemperaturtechnischen Kriterien eine Rolle.

In der Werkstattfertigung werden im allgemeinen fünf Verfahren der Schweißtechnik angewendet: Das autogene Gasschweißen und Löten hauptsächlich im Rohrleitungsbau für die Gas-, Wasser- und Wärmeversorgung. Die Löttechnik hat eine besondere Bedeutung bei der Fertigung von kryotechnischen Apparaturen. Das elektrische Lichtbogenschweißen mit der Stabelektrode wird hauptsächlich im Bereich des Stahlbaues und des Maschinenbaues eingesetzt, während das WIG-Verfahren bei den meisten Geräten

und Apparaturen, bevorzugt bei Nahtdicken unter 8 mm, zum Einsatz gelangt. Das Metall-Schutzgasschweißen wird lediglich bei ferritischen Werkstoffen im Stahl- und Apparatebau angewandt. Das H₂-O₂-Micro-Gasschweißen ermöglicht die fügetechnische Verbindung von Kleinstteilen, z.B. die Herstellung der Meßpunkte an Thermoelementen.

Schweiß- und Lötarbeiten vor Ort sind oft mit zusätzlichem technischen und personellen Aufwand verbunden. Neben den Anforderungen an das Bauteil, wie Maßhaltigkeit, Dichtigkeit und Festigkeit, werden häufig Schweißerprüfung, Eignung für Arbeiten in Strahlenschutzbereichen und Atemschutztauglichkeit gefordert. Die Arbeitsbedingungen sind in der Regel er-



*Bild 8
Heißgas-Entnahmestrecke des
Ablagerungs-Loop-Experi-
mentes VAMPYR II (IRB/AVR)*

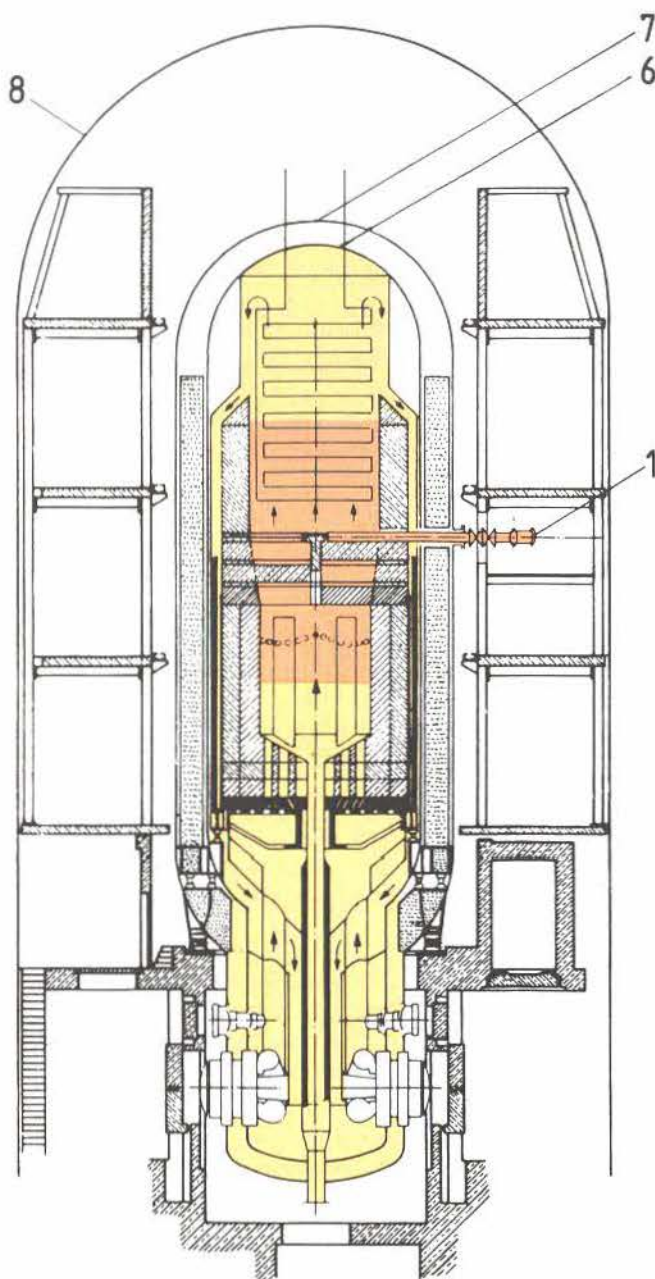
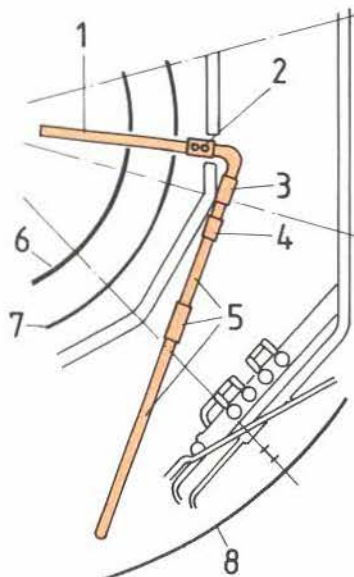


Bild 9
Einbauort des
VAMPYR II
im AVR
(IRB, AVR)

- 1 Heißgas-Entnahmestrecke
- 2 Absperrarmaturen
- 3 Zwischenstück
- 4 Heißgasverteiler
- 5 Teststrecke mit Filtern
- 6,7 innerer und äußerer Reaktorbehälter
- 8 Schutzbehälter



schwert, da die Arbeiten oft in Zwangslage, engen Räumen (in Behältern) und bei Umgebungstemperaturen über 40°C ausgeführt werden müssen. Ein typisches Beispiel für Schweißarbeiten mit besonders hohen technischen und personellen Anforderungen ist das Ablagerungs-Loopexperiment VAMPYR II.

VAMPYR II (IRB/AVR)

Das Ablagerungsloop VAMPYR II am AVR ist eine überwachungsbedürftige Anlage im Sinne der GWO § 24 (3) und dient dazu, Ablagerungsparameter der staubförmig-festen Spalt- und Aktivierungsprodukte an Materialproben zu ermitteln. Dazu ist die Heißgas-Entnahmestrecke (Bild 8) an den Primärkreislauf des AVR in Coremitte (Bild 9) angeschlossen, um einen Teil des heißen Helium-Kühlgases in die im Schutzbehälterraum installierte Meßstrecke einzuleiten. Anschließend wird der Gasstrom durch Kühler und mehrere Filter geführt.

Der Helium-Teilstrom von 50 Nm³/h hat an der Entnahmestelle einen Druck von 9,8 bar und eine Temperatur von 950°C, die entlang der Meßstrecke auf einen Wert von 500°C abfällt. In den nachgeschalteten Heißgaskühlern wird das Helium auf unter 100°C abgekühlt und Filtern zur Abtrennung von Verunreinigungen zugeführt.

Die Materialproben bestehen aus hochwarmfesten Werkstoffen wie Hastelloy X, Incoloy 800 H, Inconel 617, Nimonic 86.

Besonders hohe Anforderungen an die Werkstattfertigung lagen u. a. bei den vielen unterschiedlichen schweißtechnischen Verbindungen vor, die hochlegierte austenitische Stähle, Ni-Basislegierungen und sehr heißempfindliche Werkstoffe wie Incoloy 800 H betrafen. Heizleiter wurden in gasdichte Durchführungen der Heizstrecke eingelötet. Die Bilder 10 und 11 zeigen das Ablagerungsloop während der Kalterprobung und vermitteln einen sehr guten Einblick in dessen komplexen Aufbau.

Bei der Montage des Loops waren auch Schweißarbeiten vor Ort auszuführen. Die Anschlußnähte wurden in den beengten Räumen des AVR-Schutzbehälters in Zwangslage geschweißt. Diese Arbeiten durften nur von Schweißern ausgeführt werden, die mit Schweißerprüfungen nach DIN 8560 und DIN 8561 zugelassen waren und strahlenexponiert eingesetzt werden konnten. Ein Teil dieser Arbeiten mußte mit umluftunabhängiger Atemluftzufuhr, d.h. unter schwerem Atemschutz durchgeführt werden.

Bild 10

VAMPYR II (IRB, AVR), Kalterprobung bei HRB; rechts: Teil des HRB-Heliumgasgebläses, daran anschließend Heißgasabsperrrarmaturen, der 90°-Krümmer für die Heißgas-Entnahmestelle und der Erhitzer zum Ausgleich der Temperaturverluste des einströmenden Heliums.

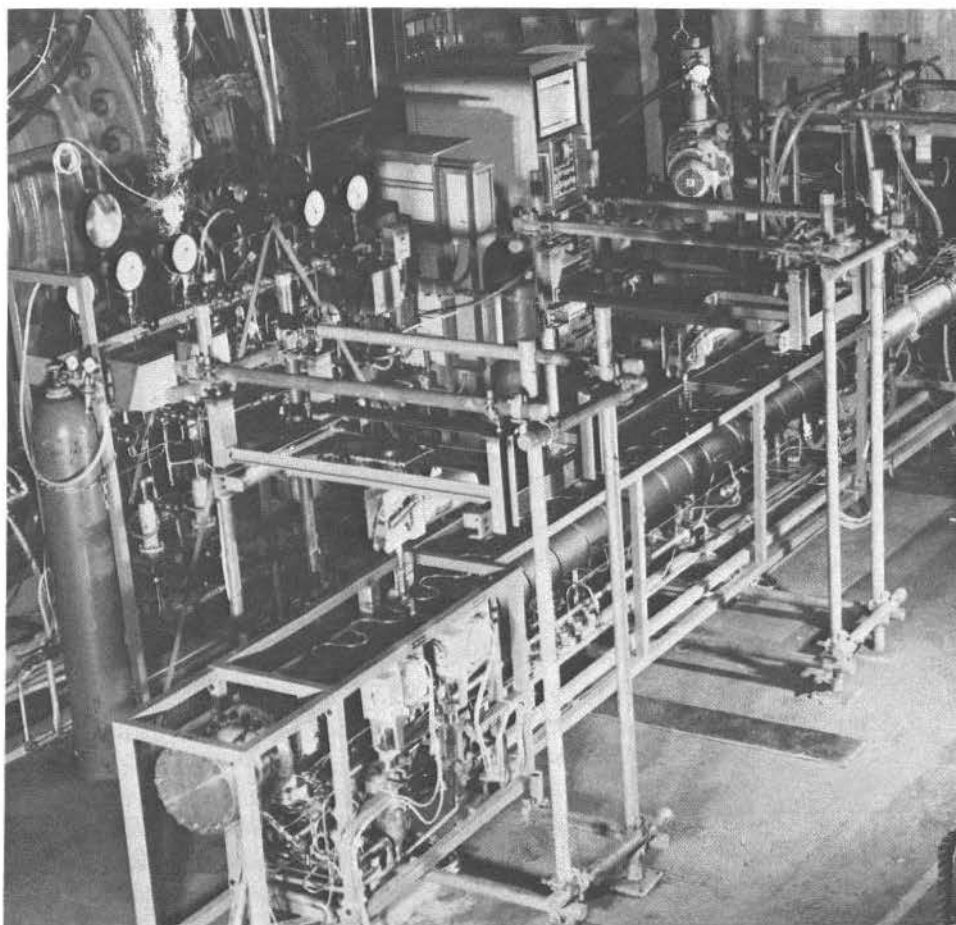
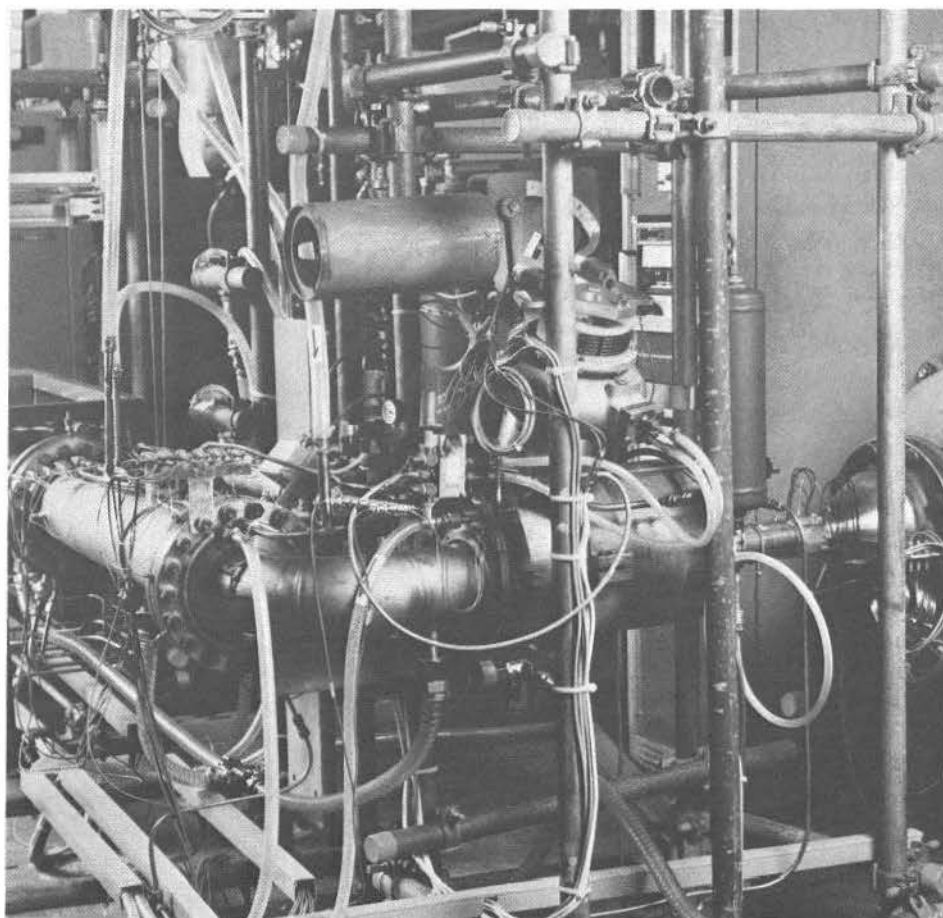


Bild 11:

VAMPYR II (IRB, AVR), Kalterprobung bei HRB; Teststrecke aufgehängt in zwei Konstanthängern als Stabilisatoren der Dehnungsbälge, die zum Ausgleich des unterschiedlichen Dehnungsverhaltens bei den großen Temperaturdifferenzen dienen. Rechts oben: 90°-Krümmer, links daran anschließend: Teststrecke mit Filtern. Im Hintergrund links sind die zum Loopexperiment gehörenden Versorgungs-, Steuer- und Regeleinrichtungen aufgestellt.

Apparate- und Stahlbau

- Fertigung und Montage von Apparaturen, Behältern, Rohrleitungen und Stahlbauten für Experimentier- und Betriebseinrichtungen

- Werkstattfertigung

Schneiden	Schnittlänge bis 2000 mm; Blechdicke bei Baustahl bis 8 mm, bei hochlegiertem Stahl bis 6 mm
Kanten	Kantenlänge bis 2000 mm; Blechdicke 3 bis 6 mm
Rundwalzen	Arbeitsbreite bis 1000 mm; ab 180 mm Ø, Blechdicke bis 5 mm
Sägen	Schnittbreite bei 90° bis 280 mm, bei 45° bis 170 mm
Glühen	bis 900°C: 1500x1000x1000 mm Arbeitsraum, bis 1300°C: 250x150x460 mm Arbeitsraum
Strahlen	mit Korund oder Glasperlen 1200x1000x500 mm Arbeitsraum
Gießen	Blei bis 100 kg je Schmelze
Thermisches Trennen	Plasma: Hochlegierter Stahl bis 40 mm Dicke; autogen: Baustahl bis 100 mm Dicke
Pressen	bis 1000 kN
Punkt-schweißen	Blechdicke 0,1 – 2,0 mm

- Schweiß- und Montagearbeiten vor Ort

Die Fertigung und Montage von Apparaturen, Behältern, Rohrleitungen und Stahlbauten für Experimentier- und Betriebseinrichtungen erfolgt mit spanenden, fügetechnischen, kalt- und warmverformenden Bearbeitungsverfahren. Die Gruppe Apparate- und Stahlbau verfügt über eine moderne Werkstattaufrüstung, mit deren Hilfe die Bearbeitung von Blech- und Profilhalbzeugen ausgeführt wird. Scheren, Kant-, Sicken-, Nibbel- und Rundwalzmaschinen werden vor allem zur Blechbearbeitung bei der Herstellung von Behältern, Verkleidungen von Kreislaufschränken und ähnlichem eingesetzt.

Vorbearbeitete Einzelteile oder Baugruppen müssen vor der Weiterverarbeitung häufig spannungsarm geglüht werden, um die zu Verformungen führenden Eigenspannungen zu reduzieren. Hochlegierte Cr-Ni-Stähle werden zum Teil bei ca. 900°C stabilgeglüht, bei ca. 1100°C lösungsgeglüht.

„Sandstrahlen“ – mit Korund – rauht die Oberflächen stark auf (Reinigung von Rost, Zunder, Farbe), während das Strahlen mit Glasperlen (ca. 100 µm Ø) die Oberflächen verdichtet (veredelt).

Wegen der radioaktiven Strahlung sind für alle Reaktorexperimente Abschirmungen notwendig. Sie werden für γ-Strahlen aus reinem Blei, für Neutronen aus

Eisenschrot mit Borkarbid in Beton, aus Paraffin oder aus Kunstharz gegossen (Bilder 12 bis 14).

Sperriges Halbzeug und besonders Kurven- oder Schrägschnitte werden thermisch getrennt. Für hochlegierte Cr-Ni-Stähle, Al- und Cu-Legierungen muß das Plasmaschneiden angewandt werden. Rohrbiegearbeiten und Rohraushalsungen werden – mit Hilfe besonderer Vorrichtungen – an mechanischen und hydraulischen Pressen ausgeführt, die auch Richt- und Stanzarbeiten sowie der Herstellung von Preß- und Ziehteilen dienen.

Ein großer Teil der Forschungs- und Betriebseinrichtungen, die in der Werkstatt gefertigt werden, muß direkt am Experimentierort montiert werden. Die Montage- und Schweißarbeiten stellen dann besonders hohe Anforderungen, wenn sie in Kontrollbereichen, an überwachungsbedürftigen Anlagen, z.B. an den Reaktoren, und in Zwangslage ausgeführt werden müssen. Auch hier können daher nur Schweißer eingesetzt werden, die neben den hohen fachlichen Qualifikationen über die physische Eignung bis hin zur Tauglichkeit für Arbeiten unter schwerem Atemschutz verfügen.

Stahlbauten (Bilder 15 bis 17) und Handschuhboxen (Bilder 18 und 19) stellen typische Arbeitsbeispiele dar.

Neutronen- und γ-Abschirmungen

Der Umgang mit radioaktiven Stoffen erfordert besondere Abschirmungen. Sie werden für die Um-

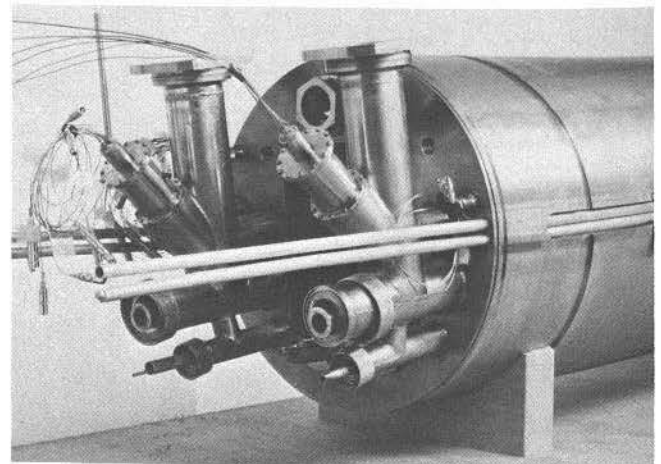


Bild 12

Der Strahlrohreinschub der Kalten Neutronenquelle (IFF, TD-EV) enthält in seinem zylindrischen Abschirmteil gegossene Bleisegmente und eine Vergußmasse aus Grauguß-Schrot unterschiedlicher Körnung – mit 4 % Borkarbid-Zusatz – gebunden in Araldit. Die Dichte der Vergußmasse beträgt 5,3 kg/dm³.

schließung von Strahlenquellen und Strahlführungen u.a. bei Versuchseinrichtungen, Versorgungsleitungen und Transportbehältern benötigt.

Eine Abschirmung besteht aus Hüllkörpern, rohrförmigen Durchführungen und Füllmassen. Zur Herstel-



Bild 13

Besonders geprüfte und zugelassene Abschirmungen erfordert der Transport radioaktiver Stoffe. Der 1,5 t schwere Transportbehälter (EM, ASS) ist für den internationalen Land-, Luft- und Seetransport bis zu einer Aktivität von 5000 Curie ^{60}Co -äquivalent zugelassen. Das Nutzvolumen beträgt bis zu 6 l.

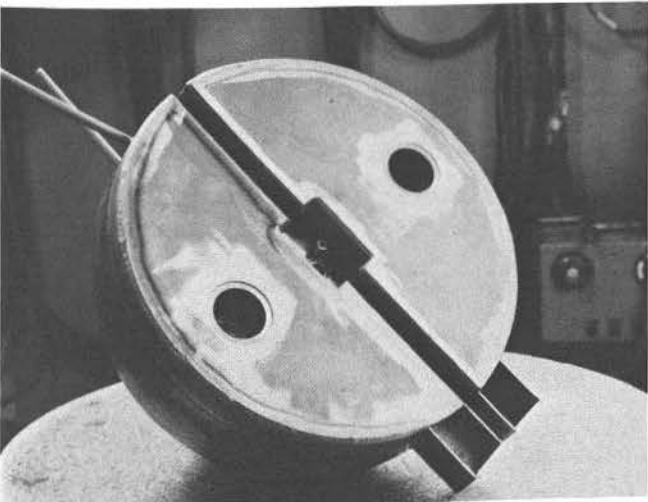


Bild 14

Die γ -Abschirmung aus Blei (IRB) für eine ^{134}Cs -Quelle mit einer Aktivität von 2 Curie. Sie ist Teil einer Versuchseinrichtung, in der das Cäsium mittels einer Wasserheizung auf 150°C erhitzt wird. Der Cäsium-Dampf wird im Versuchskreislauf einem Heliumstrom beigegeben, um das Ablagerungsverhalten in Kreislaufkomponenten, z. B. in Wärmetauschern, zu untersuchen.

lung der Hüllkörper werden sowohl ferritische als auch austenitische Stähle verwendet. Die Füllmassen werden lose eingeschüttet oder vergossen. Hüllkörper sind typische Arbeiten des Apparate- und Stahlbaus. Bleiabschirmungen bis 100 kg können gegossen werden. Vergußmassen, die Grauguß oder Stahlschrot enthalten, müssen in mehreren Chargen verarbeitet werden, damit beim Rüttel-Verdichten keine Entmischung unterschiedlicher Schrottkörnungen entsteht. Außerdem darf die Wärmeentwicklung während des Abbindens der Vergußmasse nicht zu unzulässigen Verformungen führen.

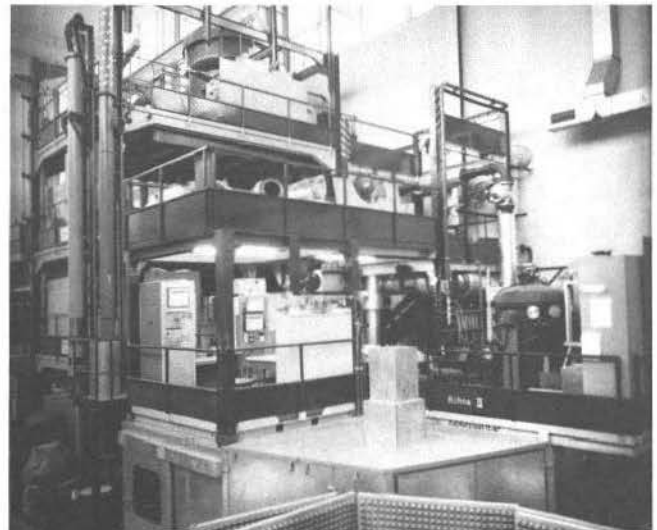


Bild 15

Arbeitsbühne des Hochdruck-Versuchskreislaufs (IRB) zur Messung der Temperaturverteilung in Kugelschüttungen bei freier und erzwungener Konvektion

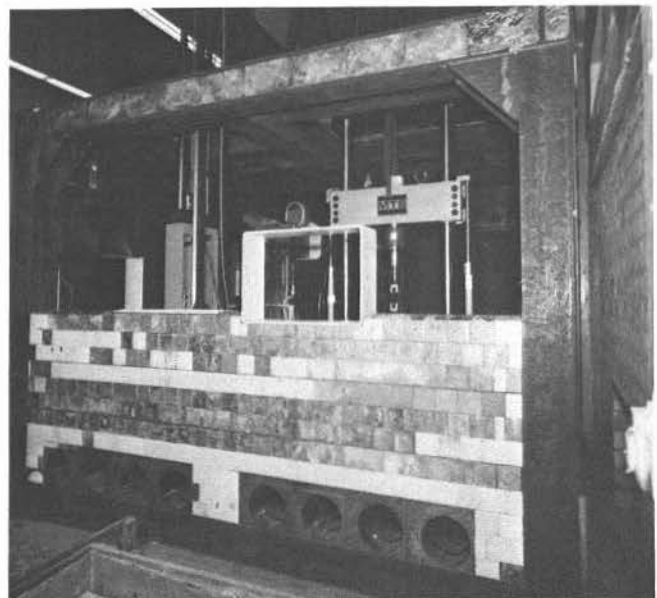


Bild 16

Bruchmechanik-Zelle für das Brennstoffzellen-Labor (IRW/HZ)

Stahlbauten

Errichtung, Umbau und Ergänzung von Stahl- und Stahlschachtbauten sind in vielen Labor- und Betriebsräumen als Stützkonstruktion oder als Arbeits- und Lagerbühnen erforderlich (Bilder 15 bis 17). Es sind meist Schweißkonstruktionen aus ferritischen Werkstoffen, z.B. St 37-2 und St 52-3. Voraussetzung für deren Herstellung ist der Große Eignungsnachweis nach DIN 18800.

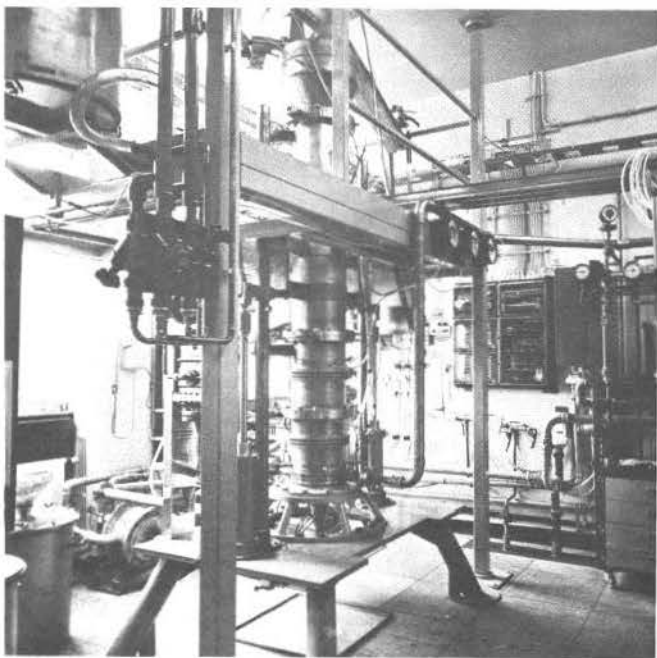


Bild 17
Wirbelschichtreaktor-Versuchsanlage WSR 200 (ICT)

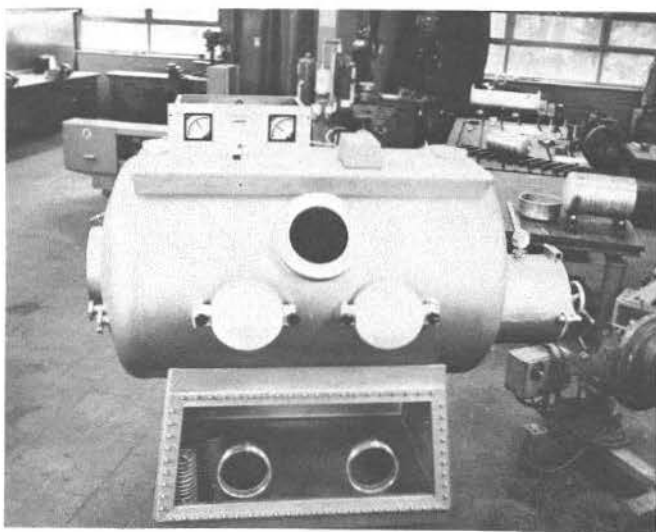


Bild 18
Handschuhbox (ICT) für Lagerung und Handhabung von Tritium, ausgelegt für ferngesteuerten Betrieb

Handschuhboxen

Beim Umgang mit kontaminierten Gegenständen oder bei Arbeiten unter bestimmten Gasatmosphären werden häufig Handschuhboxen benötigt. Bei kleinen Versuchsaufbauten dienen sie als "second containment". Sie werden überwiegend aus hochlegierten Cr-Ni-Stählen gefertigt und mit geringem Unterdruck betrieben (Bilder 18 und 19). Die Dichtheitsanforderungen richten sich meist nach DIN 25412.

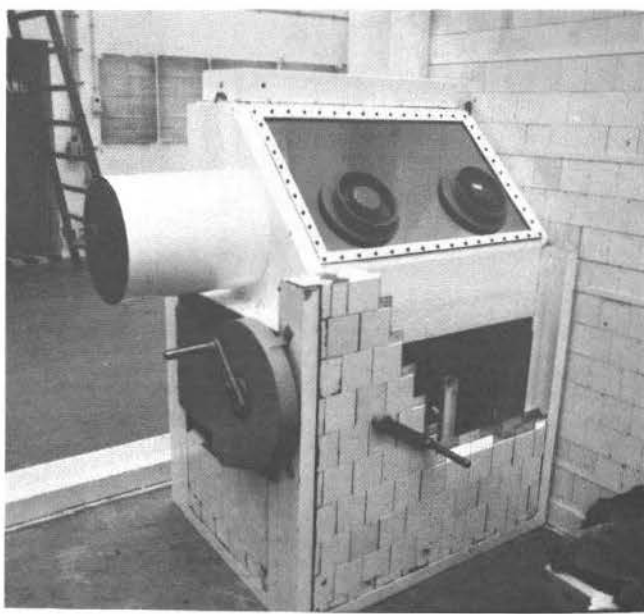


Bild 19
Handschuhbox (IRW/HZ) für das Ein- und Ausschleusen kontaminierter Gegenstände

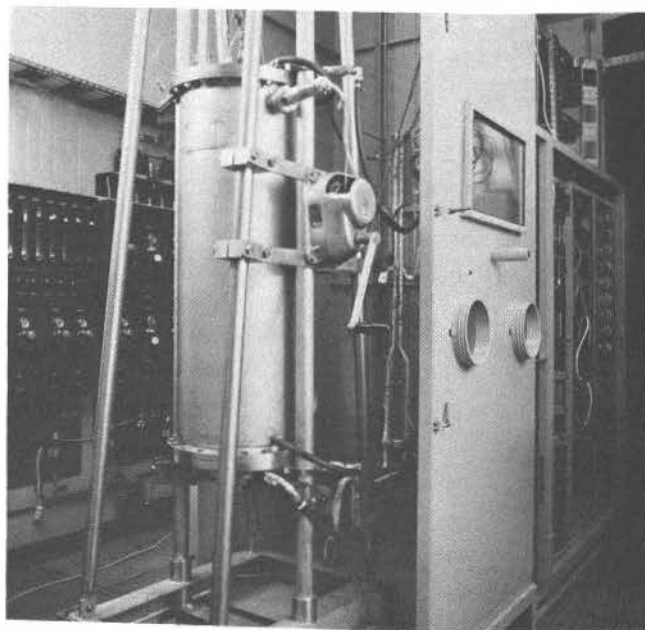


Bild 20
Permeationsmeßzelle (IRE) zur Bestimmung der Tritium-Durchlässigkeit von Sonderwerkstoffen

Druckbehälter

In fast jeder Versuchs- und Betriebseinrichtung werden Vakuum- und Druckbehälter als „Bausteine“ benötigt (Bilder 20 bis 22). Beim Einsatz im Nuklearbereich, abhängig vom Betriebsdruck und bei Betriebstemperaturen über 500°C sind besonders hohe fertigungs- und prüftechnische Anforderungen zu erfüllen. Die Herstellung abnahmepflichtiger Druckbehälter setzt die Anerkennung des Herstellers durch den TÜV nach AD-Merkblatt HP 0 voraus.

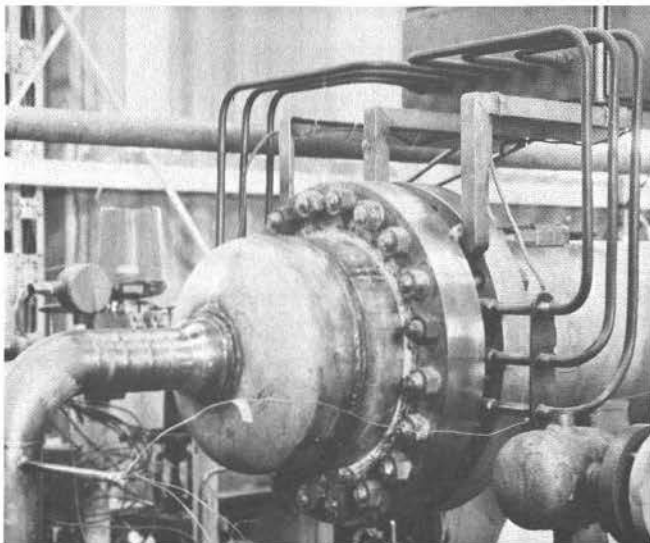


Bild 21
Gaserhitzer (IRB) im ADAM I-Methanisierungskreislauf

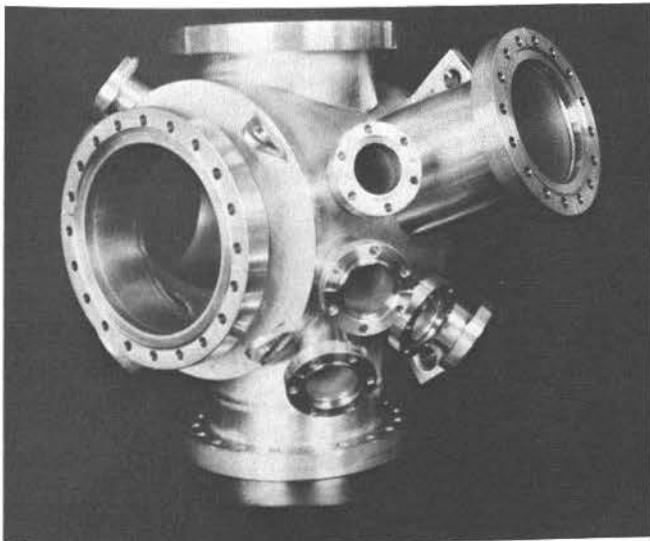


Bild 22
UHV-Probenpräparationskammer (IGV) für das Photoelektronen-Spektrometer

Fertigungsprüftechnik

- Fertigungs-, Bau- und Funktionsüberprüfungen im Rahmen der Herstellung und Beschaffung von Forschungs- und Betriebseinrichtungen
- Fertigungsprüfung

Längenmessung	Meßgenauigkeit bis $\pm 0,5 \mu\text{m}$
Rundheitsmessung	bis 300 mm \varnothing , Meßgenauigkeit bis $\pm 0,04 \mu\text{m}$
Oberflächenmessung	Rauigkeitswerte $R_a, R_t, R_{\text{max}}, R_z$ u.a., bis $0,01 \mu\text{m}$
Druckprüfung	10^{-10} mbar bis 10^3 bar
Dichtheitsprüfung	bis 10^{-10} mbar l s^{-1}
Röntgenprüfung	bis 300 kV, 10 mA
Ultraschallprüfung	Wanddickenmessung bis 1 mm, Registrierungsschwelle bis 0,7 mm
Oberflächenrißprüfung	Farbeindringverfahren, magnetische Durchflutung
Temperaturmessung	3 bis 1500 K
- Bauprüfung, d.h. Zwischen- und Endabnahmeprüfung durch den amtlich anerkannten Sachverständigen bzw. durch den Sachkundigen in TD-MW nach § 32 der Druckbehälterverordnung anhand vorgeprüfter Fertigungsunterlagen
- Funktionsprüfung und Inbetriebnahme eigengefertigter und gekaufter Forschungsgeräte und -apparaturen

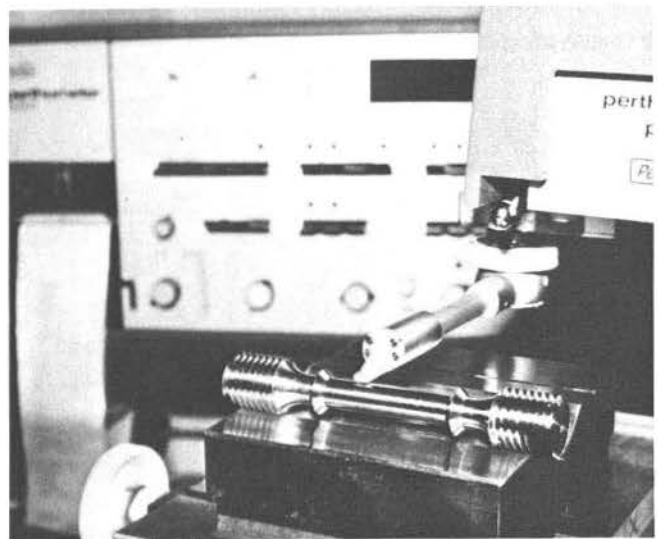


Bild 23
Messung der Oberflächenrauigkeit an einer Zugprobe (IRW)

Eine Prüfung des Arbeitsergebnisses ist bei jeder Werkstattfertigung, im allgemeinen nach jeder Fertigungsstufe, notwendig. Sie ist bei der Einmal- oder Prototypfertigung besonders wichtig, da übersehene Fertigungsfehler zu erheblichen Verzögerungen und Folgekosten führen können.

Sehr sorgfältig muß das eigene Arbeitsergebnis bereits von jedem Facharbeiter während der Durchführung seiner Fertigungsaufgabe und nach deren Abschluß überprüft werden, bevor ein Einzelteil oder eine Baugruppe für den nächsten Bearbeitungsschritt freigegeben wird. Diese Prüfungen sind bei der Herstellung von Geräten und Apparaturen mit besonderen Anforderungen durch von der Fertigung unabhängige Prüfungen zu ergänzen. Die Sorgfalt, mit der alle Arbeitsschritte und die zugehörigen Fertigungsprüfungen durchgeführt werden, kennzeichnet den Qualitätsstandard einer Werkstatt.

Sicherheitstechnisch relevante Betriebsdaten klassifizieren Geräte und Apparaturen im Regelfall als überwachungsbedürftige Anlagen, für die nach der Vorprüfung Bauprüfungen, d.h. Zwischen- und Endabnahmen durch amtlich anerkannte Sachverständige oder – in Sonderfällen – durch den berufenen Sachkundigen des Herstellers vorgeschrieben sind. TD-MW hat zur Vereinfachung der Fertigungsabläufe vom TÜV-Rheinland die Zulassung erhalten, Druckbehälter nach AD-Merkblatt HP 4 zu prüfen. Reaktorexperimente und -einbauten müssen in Anwesenheit von Prüfsachverständigen der Prüf- und Abnahmegruppe (PAG) im Auftrage des Reaktorsicherheitsausschusses

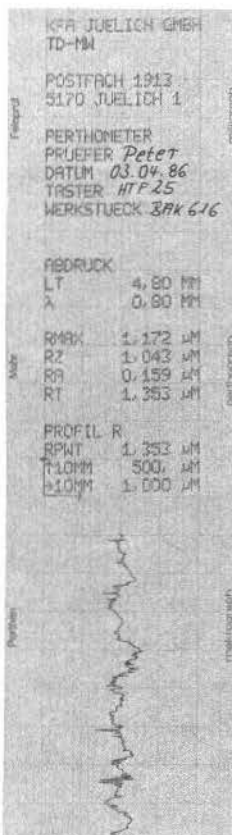


Bild 24
Protokoll einer Oberflächenmessung mit automatischer Profilaufzeichnung und Angabe der Rauheitswerte R_{max} , R_z , R_a , R_t



Bild 25
Vergleich des Soll-Kreises mit dem Ist-Kreis bei einer Rundheitsmessung (Bild 26) mit sehr hoher Auflösung. Die „dreieckige“ Form des Prüflings (Abweichung max. 14 μm) entstand durch unzulässig hohen Spanndruck im Drehfutter.

ses (RSA) geprüft werden. Alle materiellen und personellen Prüfleistungen sind dabei von der Fertigungsprüftechnik zu erbringen.

Bauprüfungen schließen oft auch Funktionsprüfungen ein, die bei komplexeren Geräten und Apparaturen stets notwendig sind. Funktionsprüfung und Inbetriebnahme der hergestellten Geräte und Apparaturen beinhalten die Prüfung aller funktionell wichtigen konstruktions- und fertigungsabhängigen Betriebsdaten. Sie dienen damit dem Nachweis, daß die in der Spezifikation geforderten Funktionen und Betriebseigenschaften gewährleistet sind.

Prototypen werden häufig noch im Verlauf der Fertigung geändert und ergänzt, wodurch zusätzlich Fehlerquellen entstehen. Da für Fehlersuche und Fehlerbehebung meist fertigungstechnisches know-how und Werkstatteinrichtungen benötigt werden, sollte die Funktionsprüfung so fertigungsnah wie möglich durchgeführt werden. Sie erfolgt stets zusammen mit dem Experimentator sowie mit den bei Konstruktion und Fertigung Beteiligten und wird unmittelbar nach Montageende durchgeführt. Dadurch lassen sich konstruktions- und fertigungsbedingte Mängel am günstigsten beheben und von Fehlern, die nach der Inbetriebnahme entstehen, unterscheiden.

Standardisierte Prüfungen und Prüfanforderungen bilden die Grundlage einer anforderungsgerechten und vom Aufwand her vertretbaren fertigungsnahen Prüf-

tätigkeit. Sie sind in der KFA-Norm 971 – 420 enthalten, die auch Empfehlungen für höhere Prüfanforderungen und für Sonderprüfungen enthält.

Diese hier übersichtsweise beschriebenen Fertigungs-, Bau- und Funktionsprüfungen sind qualitätssichernde Fertigungsschritte innerhalb des gesamten Fertigungs- und Montageablaufs (Bild 23 bis 36). Sie erfordern, wie alle übrigen Fertigungsschritte, Vorplanung und eindeutige Festlegung der notwendigen Prüfanforderungen in den Fertigungsunterlagen. Dazu besonders geeignet sind Fertigungszeichnungen, Fertigungs- und Prüffolgepläne sowie schriftlich fixierte Prüfprogramme für Funktionsprüfungen.

Längenmessung

Die Maßkontrolle von Einzelteilen ermöglicht, geometrische Abweichungen, zu denen auch Oberflächenmängel (Bilder 23 und 24) gehören, frühestmöglich zu erkennen. Mit Hilfe der Längenmeßtechnik werden die geometrischen Daten eines Bauteils bestimmt und mit den Sollwerten in den Fertigungsunterlagen verglichen. Die Längenmessungen werden mittels elektrischer, optischer und mechanischer Meßverfahren durchgeführt. Durch Rundheitsmessungen wird die Ist-Abweichung von der idealen Kreisform festgestellt (Bilder 25 und 26).

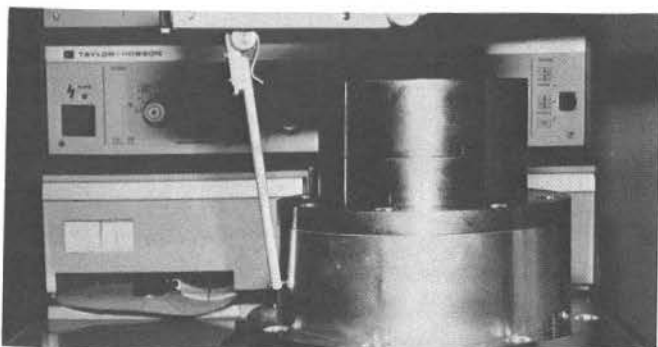


Bild 26
Rundheitsmessung an einem Magnetjoch (IGV)

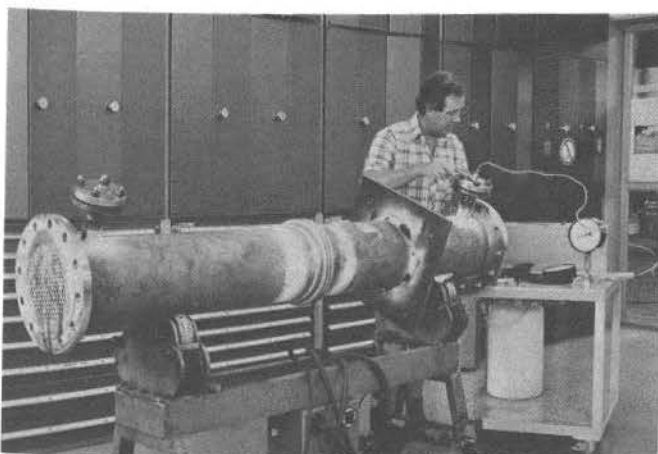


Bild 27
Wasserdruckprüfung an einem Kondensator für das Laborexperiment SMOC (IRB); Betriebsüberdruck 20 bar, Betriebstemperatur 100° C, Prüfdruck 29 bar

Druck- und Dichtheitsprüfung

Druckprüfungen (Bild 27) sind in erster Linie Festigkeitsprüfungen, seltener Dichtheitsprüfungen. Sie werden in der Regel mit Wasser durchgeführt.

Wenn keine Feuchtigkeit mehr in den Prüfling gelangen darf, werden Gasdruckprüfungen mit hochreinen Gasen vorgenommen. Bei Bauprüfungen an Bauteilen aus Stahl, Aluminium und bestimmten Nichteisenmetallen ist folgende Abhängigkeit zwischen Prüf- und Betriebsdruck vorgeschrieben:

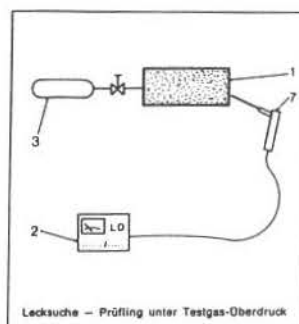
Wasser-Druckprobe

$$p' = 1,3 \times p \times \frac{K_{\text{Raumtemperatur}}}{K_{\text{Betriebstemperatur}}}$$

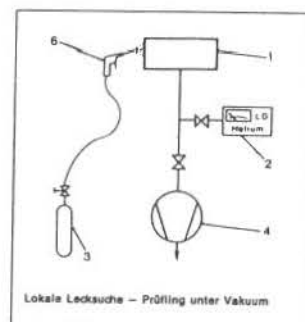
Gas-Druckprobe

$$p' = 1,1 \times p \times \frac{K_{\text{Raumtemperatur}}}{K_{\text{Betriebstemperatur}}}$$

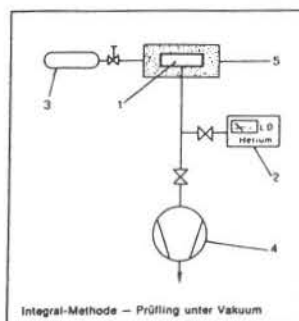
p = Betriebsdruck p' = Prüfdruck
 K = Festigkeitskennwert (Rp 0,2 bzw. Rp 1)



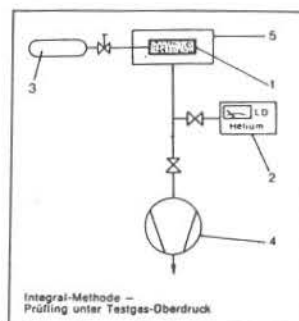
Schnüffel-Lecktest
($1 \cdot 10^{-7} \leq L \leq 1 \cdot 10^{-3}$)



He-Lecktest
($L \leq 1 \cdot 10^{-9}$)



He-Integral-Lecktest A
($1 \cdot 10^{-10} \leq L \leq 1 \cdot 10^{-5}$)



He-Integral-Lecktest B
($1 \cdot 10^{-10} \leq L \leq 1 \cdot 10^{-5}$)

Vier Helium-Lecksuchverfahren:

- | | |
|--------------------|------------------------------------|
| 1 Prüfling | 5 Prüfhülle |
| 2 He-Leck-Detektor | 6 Testgas-Sprühpistole |
| 3 Testgasbehälter | 7 Schnüffler |
| 4 Vakuumpumpe | 8 Leckrate L in mbar $l\ s^{-1}$ |

Bei der Endprüfung dürfen keine Undichtigkeiten und keine bleibenden Verformungen auftreten. Der Umgang mit komprimierten Gasen erfordert besondere Sicherheitsvorkehrungen. Dafür steht ein Gas-druckprüfraum zur Verfügung.

Dichtheitsprüfungen müssen an allen Vakuumrezipienten und an den dazugehörigen Armaturen und Rohrleitungen, aber auch an allen anderen Druckbehältern durchgeführt werden. Neben dem Necal- und dem Druckanstiegs- oder Druckabfalltest ist der Heliumlecktest die am häufigsten angewandte Prüfmethode (Bilder 28 und 29).

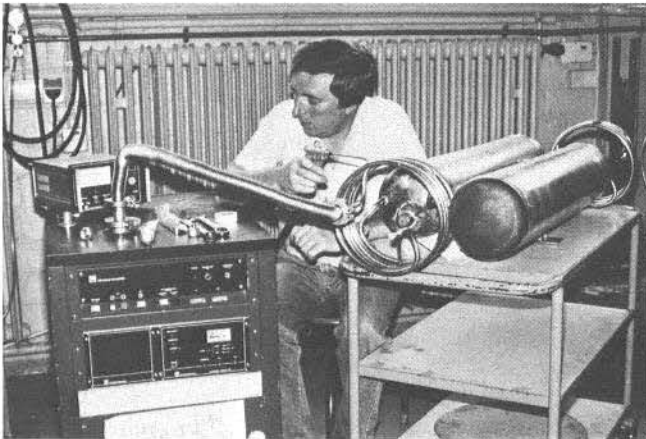


Bild 29
Helium-Lecksuche an einer Kupferoxidfalle (IRE) für die Gasreinigungsanlage eines Heliumkreislaufes

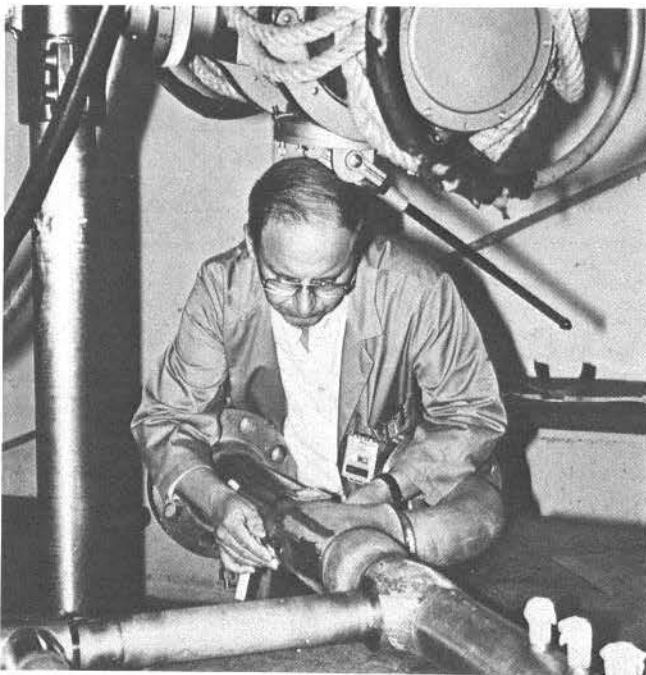


Bild 30
Vorbereitung von Röntgenprüfungen am Hauptkreislauf SMOC (IRB); Innendurchmesser der Rohrleitungen 80 mm, Grundwerkstoffe aus Ni-Basislegierungen und hochlegierten Cr-Ni-Stählen; Betriebstemperaturen zwischen 900° C am Erhitzer und 100° C an der Filterstation, Betriebsüberdruck 80 bar

Innere Werkstoff- und Bindefehler

Röntgen-, Ultraschall- und Oberflächenrißprüfungen (Bilder 30 bis 33) sind zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen zur Feststellung innerer und äußerer Fehler. Sie werden bevorzugt zur Schweißnahtkontrolle eingesetzt.

Mit der Röntgenprüfung lassen sich typische Schweißnahtfehler wie Risse, Binde- und Wurzelfehler, Fremdeinschlüsse und Poren darstellen; sie ist ferner geeignet zur Überprüfung der Formen und Einbaulagen von Bauteilen in Behältern. Aufnahmeanordnungen der wichtigsten Durchstrahlungsprüfungen sind in DIN 54111 genormt. Bei der Konstruktion muß bereits berücksichtigt werden, daß Durchstrahlung und Filmanordnung später optimal möglich sind.

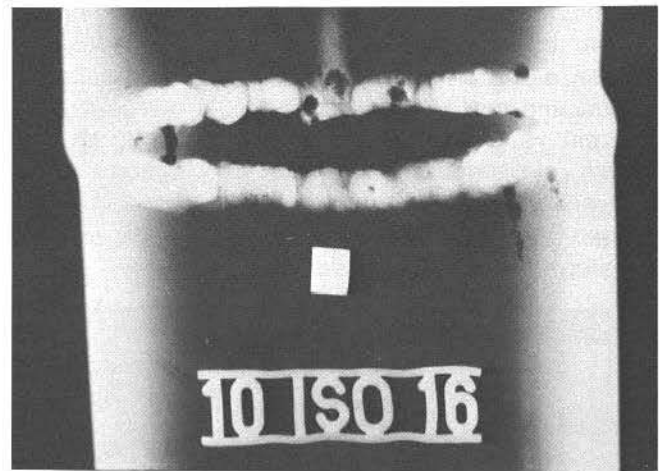


Bild 31
Der Röntgenfilm zeigt Fehler in der Rundnaht: Korrosion und Kantenversatz.

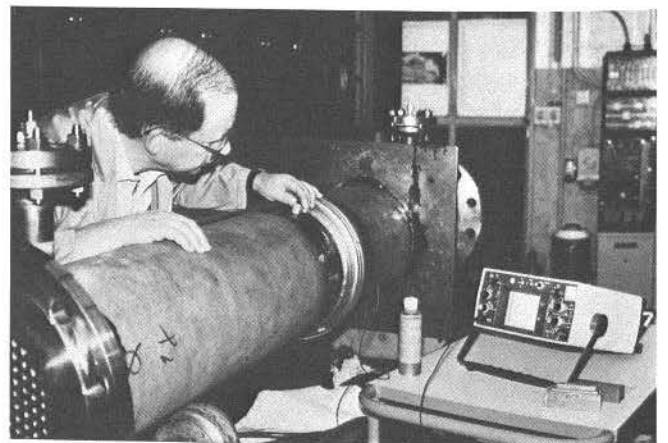


Bild 32
Ultraschallprüfung an einem Druckbehälter der Gasreinigungsanlage SMOC (IRB), Überprüfung einer Rundschweißnaht mit einem Winkelprüfkopf zur Ermittlung von Wurzel- und Bindefehlern

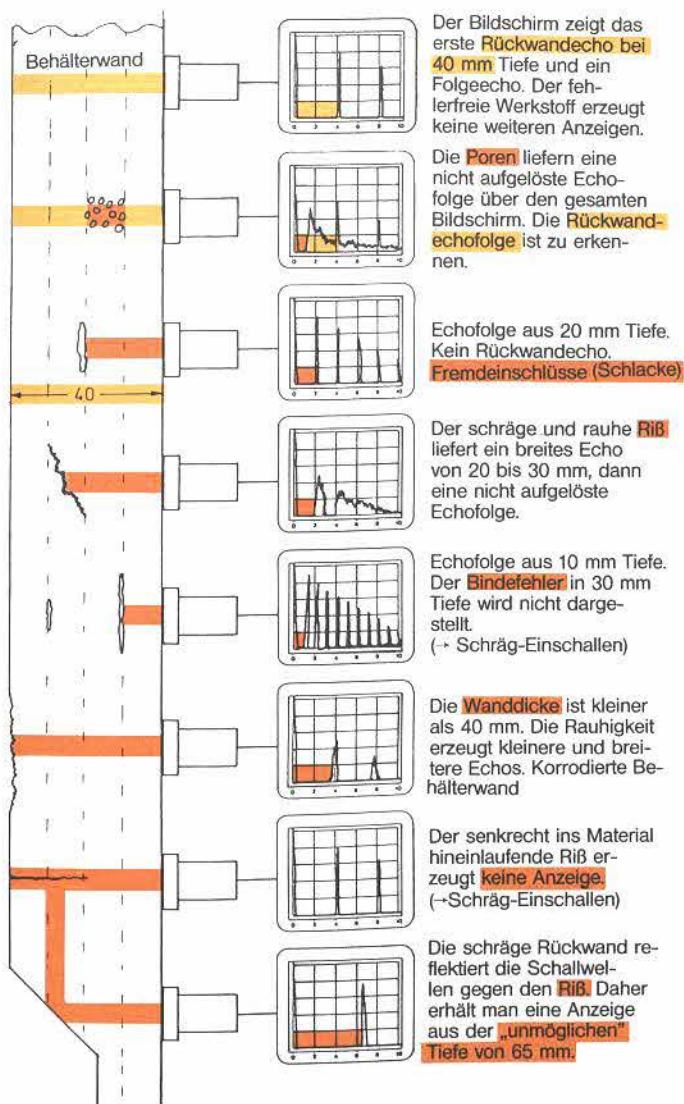


Bild 33
Leuchtschirmbilder bei der Ultraschallprüfung mit senkrechter Beschallung einer Behälterwand von 40 mm Dicke. Diese Prüfmethode dient zur Wanddickenmessung (gelb) und zur Ermittlung innerer Fehler (orange).

Werkstoffkennzeichnung

Werkstoffkontrollen während der Fertigung sind meist Verwechselungsprüfungen, die anhand der Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen nach DIN 50049 durchgeführt werden müssen. Sie schließen die Werkstückkennzeichnung (Stempelung) ein, die während der Herstellung und Bearbeitung von Einzelteilen aus Werkstoffen für nachweispflichtige Anwendungen stets notwendig ist (Bild 34).

Müssen gekennzeichnete Werkstückflächen bearbeitet werden, ist stets eine Neukennzeichnung (Umstempelung) an einer anderen Stelle desselben Werkstückes erforderlich.



Bild 34

Kennzeichnung an einem Vorschweißflansch für eine überwachungsbedürftige Experimentiereinrichtung; von oben nach unten: KFA-Code-Nr. (Reaktormaterial, RM), Proben-Nr., Werkstoff-Nr., Chargen-Nr.; links: Stempel des unabhängigen Sachverständigen, rechts oben: Stempel des verantwortlichen TD-MW-Mitarbeiters, darunter: Stempel des Ultraschallprüfers

Bei abnahmepflichtigen Bauteilen ist ein lückenloser Werkstoffnachweis vom Hersteller des Rohmaterials und der Halbzeuge über den Händler bis zum Verarbeiter und Betreiber zu führen, wobei die Werkstoffe eine Vielzahl von Lager- und Bearbeitungsstellen durchlaufen können. Mit der Kennzeichnung der Werkstoffe vom Rohmaterial bis zum fertigen Bauteil sind eigens dafür zugelassene Personen beauftragt, da sichergestellt sein muß, daß die Kennzeichnung stets anforderungsgerecht durchgeführt wird. Eine nachträgliche Bestimmung eines Werkstoffes ist sehr aufwendig, da die mechanischen Werkstoffeigenschaften nur an Materialproben untersucht werden können, die dem fertigen Werkstück zu entnehmen sind.

Funktionsprüfung

Die fertigungsnahe Funktionsprüfung setzt in der Regel die Prüfung der Einzelteile voraus. In zusammengebautem Zustand werden dann die hergestellten Geräte und Apparaturen hinsichtlich der Erfüllung der spezifizierten Anforderungen an Funktion und Betriebsverhalten geprüft. In vielen Fällen handelt es sich um die Prüfung mechanischer Eigenschaften, z.B. die Leichtgängigkeit von Führungen oder von rotierenden Bauteilen. So wurde z.B. am Malteserkreuz-Transportbandantrieb der g-Faktor-Apparatur (Bild 35 und Bild 13, Seite 20) eine Reihe mechanischer Funktionsprüfungen durchgeführt, u.a.

- Antriebseigenschaften der Getriebeeinheit
- Reproduzierbarkeit der Transportbandpositionierung bei verschiedenen Geschwindigkeiten
- Abriebfestigkeit der gewählten Werkstoffe

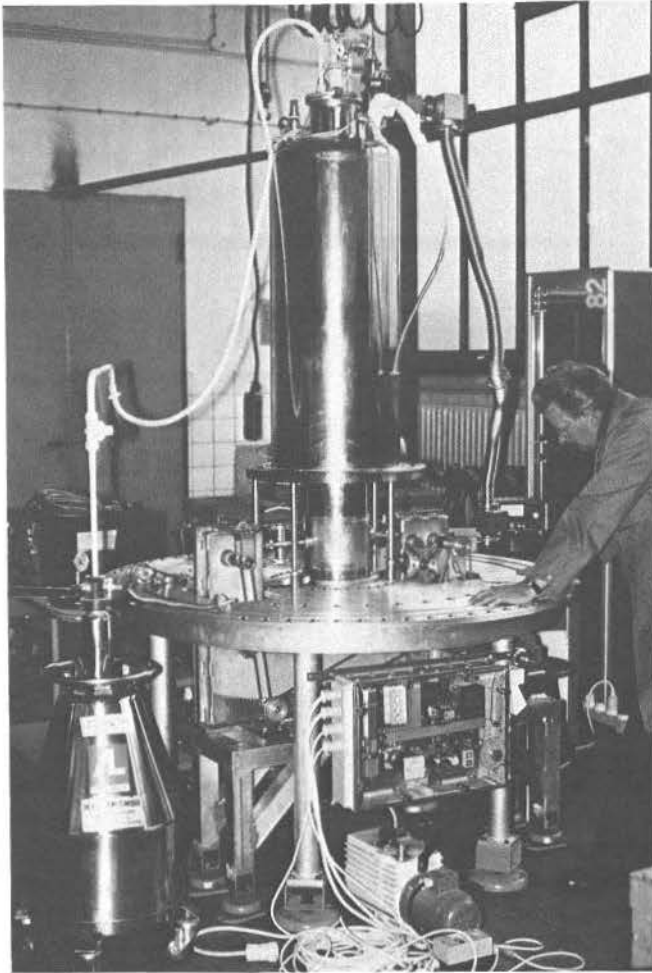


Bild 35

Funktionsprüfung der g-Faktor-Apparatur (IKP). Zur Prüfung der Vakuumeigenschaften, der kryotechnischen, der mechanischen und der magnetischen Funktionen wurden der Kryostat und die Magnetspule mit Flüssigstickstoff vorgekühlt. Danach erfolgte die Abkühlung auf etwa 4,2 K mit Flüssighelium. Anschließend wurden u.a. folgende Funktionsprüfungen durchgeführt:

- He-Lecktest im kalten Zustand
- Vakuum-Druckmessungen im Vergleich mit dem warmen Zustand
- Messung des Kältemittelverbrauchs durch Bestimmung der Abgasrate
- Temperaturmessungen an funktionswichtigen Komponenten
- Überprüfung auf Kältebrücken, die durch unterschiedliche Ausdehnung der Werkstoffe entstehen und einen hohen Kältemittelverbrauch zur Folge haben können
- Erregung der Magnetspule und Hochfahren des Magnetfeldes auf den Sollwert
- Messung des Kältemittelverbrauchs bei erregter Spule
- Messung der Magnetfeldänderung im supraleitenden Zustand

- Vorschubmessung am Transportband
- Temperaturmessung der Lager bei verschiedenen Bandgeschwindigkeiten

Diese Prüfungen hatten unmittelbar Verbesserungen der mechanischen und kinematischen Eigenschaften der Getriebeeinheit zur Folge.

Insbesondere wird aber die Verknüpfung von mechanischen, hydraulischen, pneumatischen Baugruppen und elektrischen physikalischen Funktionen getestet (Bilder 35 und 36).

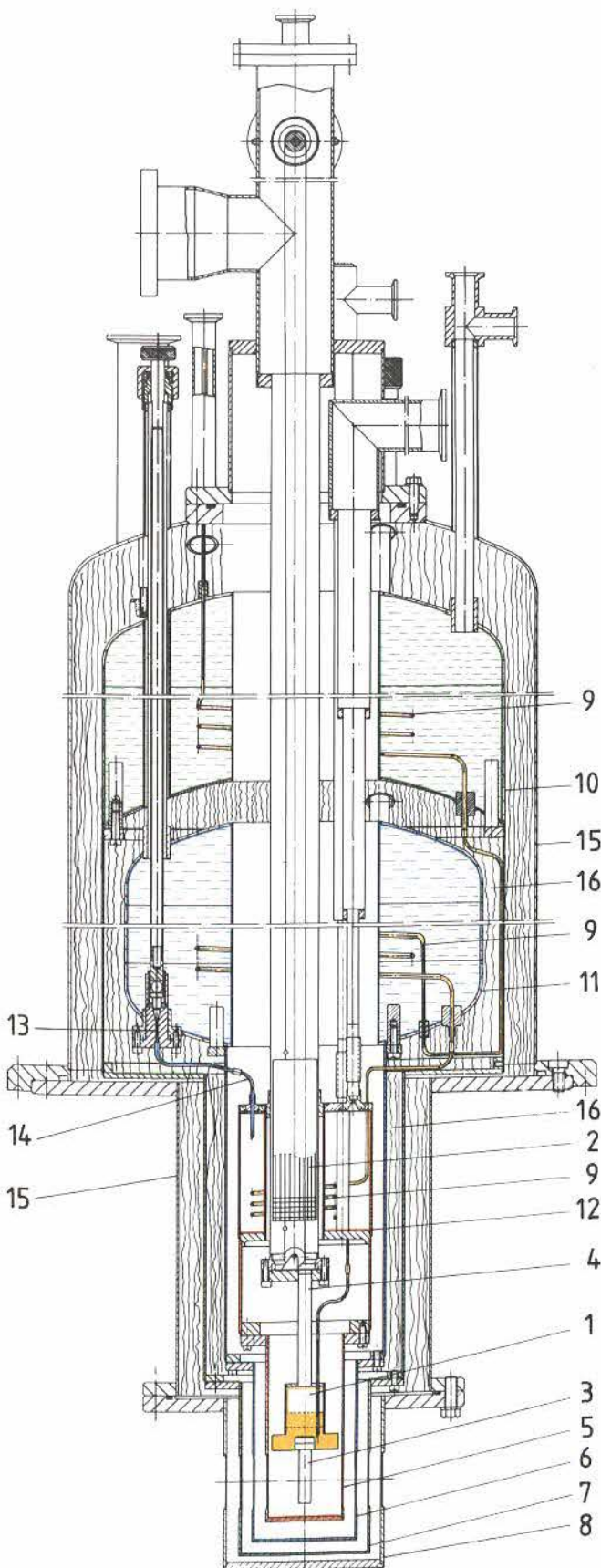
Einen Schwerpunkt bildet dabei die Kontrolle von kryo- und vakuumtechnischen Betriebsdaten, u.a. mit

- Kaltfahrttests zur Bestimmung des Kältemittelverbrauchs, der erreichbaren tiefsten Temperatur und der Temperaturkonstanz
- Druckmessungen zur Bestimmung des erreichbaren Endvakuaums mit Partialdruckmessung zur Restgasanalyse
- Ausheiztests an Geräten und Apparaturen, die in der Atmosphäre oder unter Vakuum ausgeheizt werden müssen, um das Endvakuum zu verbessern
- Strömungstests, d.h. Messen der Durchflußmengen und Bestimmen der Widerstände in den Leitungen von Versorgungs-, Steuer- und Regelungseinrichtungen (Kreislaufröhren)
- Materialtests, d.h. Prüfung des Werkstoffverhaltens abhängig von den Betriebsbedingungen, z.B. bei hohen und tiefen Temperaturen und unter Ultrahochvakuum; Messung der magnetischen Eigenschaften
- Langzeittests zur Ermittlung von Informationen und Daten über das Langzeit-Betriebsverhalten der Komponenten, Geräte und Apparaturen

Außer der g-Faktor-Apparatur und dem ^3He -Kryostaten wurden auch die Molekularstrahl-Apparatur, das Photoelektronen-Spektrometer, die Kryostaten für die Luftprobenentnahme aus der Atmosphäre, die Xenon-Ausfrierfalle – wie die meisten in diesem Bericht beschriebenen größeren Experimentiereinrichtungen – nach speziellen Funktionsprüfprogrammen geprüft.

Derart umfangreiche Anforderungen enthält beispielsweise auch das Funktionsprüfprogramm eines neu entwickelten ^3He -Kryostaten für das IFF/MIN (Bild 36). Dieser Kryostat wird für neutronenspektroskopische Strukturuntersuchungen an Proben Seltenen Erden benötigt, die zur Reduzierung der temperaturabhängigen Gitterschwingungen bis in den Bereich um 350 mK abgekühlt werden müssen. Vermittelt des magnetischen Momentes der gestreuten Neutronen werden magnetische Strukturen sichtbar,

die sich erst bei diesen tiefen Temperaturen ausbilden. Zur Durchführung der Experimente sind eine Temperaturkonstanz von etwa 50 mK und eine Betriebszeit des Kryostaten von ca. 40 Stunden notwendig.



Der Temperaturbereich bis etwa 300 mK ist nur mit ^3He als Kältemittel und dessen Dampfdruckreduzierung zugänglich. Dazu wird vorgekühltes gasförmiges ^3He – oberhalb der flüssigen ^3He -Phase in der ^3He -Kammer (gelb) – mit einer vertikal verfahrbaren Aktivkohle-Absorptionspumpe abgepumpt. Die Absorptionspumpe ist in der Höhe verstellbar, um sie regieren und erneut stufenweise abkühlen zu können. Ein aufwendiges mechanisches Pumpsystem ist bei dieser Lösung entbehrlich.

Die funktionswichtige, tiefste erreichbare Temperatur hängt außer von der Pumpleistung ausschließlich von der Güte der ^3He -Vorkühlung und der thermischen Isolierung sowohl der ^3He -Kammer als auch der Probenhalterung und Probe gegen die wärmere Umgebung ab. Das ^3He -Absaugrohr ist daher dünnwandig als Wärmewiderstand ausgebildet, der Probenbereich wurde mit helium- und stickstoffgekühlten Strahlungsschilden sowie mit einem Vakuummantel umgeben. Vorkühlung und schließlich Kondensation des durch ein Kapillarrohr (gelb) der ^3He -Kammer zugeführten Kältemittels erfolgen dreistufig, und zwar bei 77 K im Flüssigstickstofftank (grün), bei 4,2 K im Flüssig- ^4He -Tank (blau) und bei 1,2 K (Kondensation) in einem ^4He -Gefäß, dessen niedrige Temperatur ebenfalls durch Dampfdruckreduzierung, d.h. durch Abpumpen von gasförmigem ^4He oberhalb der flüssigen ^4He -Phase erreicht wird (In dieses Gefäß kann Flüssighelium über ein Nadelventil und ein weiteres Kapillarrohr (blau) nachgefüllt werden). Die bereits erwähnten Strahlungsschilde einerseits sind wärmeleitend jeweils mit den entsprechenden Tanks und dem 1,2 K-Gefäß verbunden, der Vakuummantel andererseits mit dem ebenfalls evakuierten Kryostatenmantel. Zur Reduzierung der Wärmestrahlung sind die evakuierten Zwischenräume mit Superisolation ausgefüllt.

Zum Betrieb des ^3He -Kryostaten sind außer den Nachfülleinrichtungen für Flüssigstickstoff und Flüssighelium ein ^3He -Handhabungssystem mit zugehöriger LN_2 -Kühlfälle und ^3He -Vorratsbehälter sowie Meßeinrichtungen erforderlich. Es ist naheliegend, daß

Bild 36

^3He -Kryostat (IFF/MIN); Funktionsschema des Kryostaten zur Erläuterung der werkstattgebundenen Funktionsprüfanforderungen und -prüfungen

- | | |
|---|---|
| 1 ^3He -Kammer (gelb) | 9 ^3He -Kapillarrohr (gelb) und ^3He -Vorkühlstufen |
| 2 Absorptionspumpe | 10 Flüssigstickstofftank (grün) |
| 3 Probenhalterung und Probe | 11 Flüssig- ^4He -Tank (blau) |
| 4 ^3He -Absaugrohr | 12 Flüssig- ^4He -Gefäß (orange) |
| 5 1,2 K – ^4He -Strahlungsschild | 13 Nadelventil |
| 6 4,2 K – ^4He -Strahlungsschild | 14 ^4He -Kapillarrohr (blau) |
| 7 77 K – N_2 -Strahlungsschild | 15 Kryostatenmantel |
| 8 Vakuummantel | 16 Superisolation |



Bild 37

^3He -Kryostat (IFF/MIN) während der Funktionsprüfung im Prüfraum der TD-MW; für den Prüfbetrieb des Kryostaten werden das ^3He -Gas-Handhabungssystem (Mitte), Vakuumpumpen (Vorpumpstand, links, Turbomolekularpumpstand, rechts) sowie die Kühlmittelversorgung für Flüssigstickstoff und -helium (auf dem Bild nicht sichtbar) benötigt. Die Erfassung der Betriebsdaten (Temperaturen, Drücke, Verbrauchsmengen) der in Bild 36 gezeigten Kryostatenkomponenten erfolgt mittels Vielkanalschreiber und Abgasmen-

Zähler.

Fertigungs- und Montageprüfungen der Einzelteile und Baugruppen allein nicht ausreichen, um die Funktionstüchtigkeit einer derartigen Experimentiereinrichtung nach der Werkstattmontage zu gewährleisten. Zum Herstellumfang gehören daher werkstattgebundene Funktionsprüfungen, welche die betrieblichen Eigenschaften aller Komponenten und deren Zusammenwirken erfassen. Das Funktionsprüfprogramm für den ^3He -Kryostaten umfaßte übersichtsweise

- Dichtheitsprüfungen der einzelnen Behälter im zusammengebauten Zustand mit den zugehörigen Rohrleitungen, Ventilen und Meßeinrichtungen bei unterschiedlichen Temperaturen
- Funktionsprüfung der Absorptionspumpe abhängig von der Betriebstemperatur und Prüfung der mechanischen Eigenschaften des Hubsystems
- Kondensation des ^3He und Messung der minimalen Betriebstemperatur, der Temperaturkonstanz, der maximalen Betriebszeit
- Transfer des ^3He in das Handhabungssystem und Rekondensation im Kryostaten

Fertigungstechnik (TD-MW/F)

Anforderungen und Aufgaben

- Fertigung und Fertigungsprüfung, Montage und Erprobung von Forschungsgeräten und -apparaturen
- Maschinelle Fertigung
- Manuelle Fertigung (Mechanik)
- Feinmechanik, Funkenerosion
- Schleiftechnik, Werkzeugschleiferei
- Keramik- und Graphitbearbeitung
- Kunststofftechnik
- Glastechnik
- Beiztechnik
- Fertigungstechnische Aus- und Weiterbildung

Die Fertigungstechnik führt überwiegend Maschinen-, Mechanik-, Feinmechanik-, Montage-, Prüf- und Erprobungsarbeiten aus, die zur Herstellung von Experimentier- und Betriebseinrichtungen bis hin zu deren Inbetriebnahme erforderlich sind. Dabei haben neben den konventionellen Be- und Verarbeitungsverfahren Sonderverfahren eine große Bedeutung, die für Metalllegierungen mit ungewöhnlichen mechanischen Eigenschaften sowie für Kunststoffe, keramische Werkstoffe und Glas benötigt werden. Sie schließen auch die Oberflächenveredelung mit chemischen und galvanischen Verfahren ein.

Um den fertigungstechnischen Anforderungen der Prototypenherstellung für die experimentellen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der KFA zu entsprechen, werden umfangreiche technische Einrichtungen bis hin zur NC-Fertigung und funkenerosiven Bearbeitung eingesetzt.

Die wichtigsten maschinellen Bearbeitungsverfahren sind in den Übersichten genannt. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen sind die Maschinengrößen und -leistungen auf die angegebenen Grenzen beschränkt. Die oberen geometrischen Grenzwerte werden durch teure Großmaschinen repräsentiert, die im Fertigungsablauf häufig Engpässe darstellen. Nicht vorhandene personelle und maschinelle Fertigungskapazität muß in diesem Bereich daher extern gedeckt werden.

Zusammen mit den ständig erweiterten und gezielt geförderten Fähigkeiten und Erfahrungen der Mitarbeiter besteht die Möglichkeit, vor allem Experimentiereinrichtungen mit Prototypenanforderungen herzu-

stellen, die extern meist nicht oder nur zu sehr ungünstigen Bedingungen realisierbar sind. Nachfolgend sind die dazu erforderlichen fertigungstechnischen Einrichtungen mit ihren wichtigsten Aufgaben beschrieben. Das für die Auftragsbearbeitung erforderliche und vorhandene Erfahrungswissen wird an den Beispielen in diesem Bericht sichtbar und anhand weiterer fertiggestellter Arbeiten in diesem Abschnitt etwas mehr im Detail erläutert.

Maschinelle Fertigung

- Herstellung von Einzelteilen für Experimentiergeräte und -apparaturen sowie für Komponenten von Betriebsanlagen
- Herstellung von Werkstoffproben für Materialuntersuchung und -entwicklung
- Horizontaldrehen bis 1000 mmØ x 5000 mm Spitzenweite, Spindeldurchlaß bis 163 mmØ
- Vertikaldrehen bis 2000 mmØ, bis 1100 mm Höhe, bis 20 t Werkstückgewicht
- NC-Drehen bis 450 mmØ x 1350 mm Spitzenweite
- Tieflochbohren Ejektorbohren 20 bis 65 mmØ, bis 200 mm Tiefe; mit Bohrstange 70 bis 250 mmØ, bis 1800 mm Tiefe
- Vertikalfräsen bis 1200 x 2000 x 1350 mm Arbeitsraum
- Horizontalfräsen und -bohren bis 2000 x 1200 x 1350 mm Arbeitsraum, bis 2,5 t Werkstückgewicht
- CNC-Fräsen und -Bohren bis 1600 x 1000 x 650 mm Arbeitsraum, bis 4 t Werkstückgewicht

Forschungsgeräte und -apparaturen, für die maschinell Einzelteile gefertigt werden müssen, bestehen vorwiegend aus hochlegierten austenitischen und ferritischen (Edel-)Stählen (Bild 1), seltener aus anderen Eisen- und auch Nichteisenlegierungen sowie aus Kunststoffen. Für bestimmte Baugruppen und Komponenten sind häufig Einzelteile aus sehr unterschiedlichen Werkstoffen notwendig. Dies gilt vor allem für die Probenräume und Proben (Targets), deren Werkstoffe bzw. Werkstoffkombinationen durch das experimentelle Prinzip, das chemische oder physikalische Verfahren des Experiments bestimmt sind.

Standardisierte und individuelle Proben für wissenschaftliche und technische Materialuntersuchungen erfordern aufgrund ihrer subtilen mechanischen Ei-

genschaften die Lösung von Fertigungsproblemen, wie sie in der industriellen Fertigung seltener vorkommen. Meist werden dabei die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Schneidwerkzeuge erreicht oder überschritten, was zur Entwicklung spezieller Bearbeitungsverfahren zwingt.

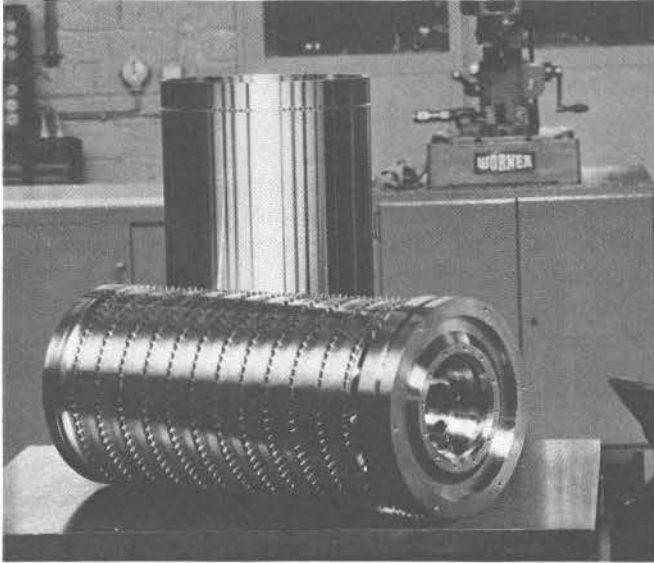


Bild 1

Trommeltarget-Rotor für den TEXTOR-Neutralinjektions-Teststand (ZBB/IPP); vorn: Rotorinnenteil mit Nocken als Abstandshalter für den Außenmantel; hinten: Rotormantel; der Ringspalt zwischen Innenrohr und Mantel dient der Kühlwasserrückführung.

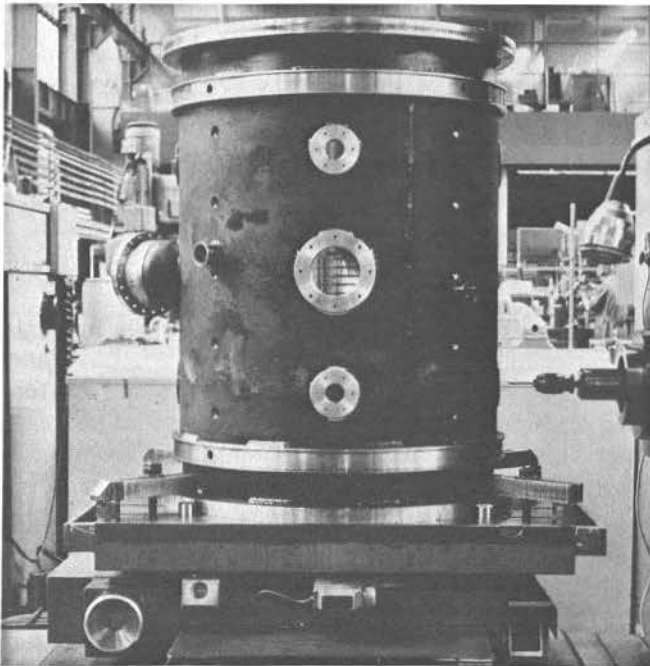


Bild 2

RFQ-Behälter (ABT); besonders sorgfältige maschinelle Bearbeitung erforderte der Vakuumbehälter für den Radiofrequenzquadrupol-(RFQ-)Prototyp.

Die an sich einfache Bohrbearbeitung kann sich an den oberen und unteren Grenzwerten als sehr schwierig erweisen; abhängig vom Werkstoff, dem Bohrdurchmesser, der Bohrtiefe und der Lage der Bohrung sind sehr unterschiedliche Genauigkeitsanforderungen – Maß-, Form- und Lagetoleranzen – erfüllbar (Bilder 2 und 3).

Eine Sonderstellung nimmt die NC-Fertigung ein, zu der Fertigungsbeispiele auf Seite 43 beschrieben sind. Manche für Experimentiereinrichtungen benötigte Einzelteile können technisch nicht auf konventionellem Wege gedreht oder gefräst werden. Wenn Raumkurven abgebildet, d.h. maschinell hergestellt werden müssen, ist eine Rechnersteuerung der Werkzeugbewegung beim Drehen bzw. der Werkstückbewegung beim Fräsen erforderlich. Abhängig von der geometrischen Komplexität sowie von der Losgröße, der Reproduziergenauigkeit und der Wiederholwahrscheinlichkeit wird mit NC-Fertigung u.U. auch ein erheblicher Zeit- und Kostenvorteil erzielt [31].

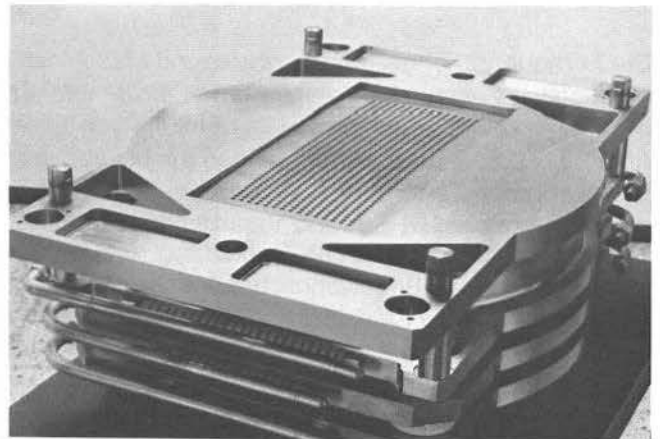


Bild 3

Ionengitter für den Neutralinjektions-Teststand (ZBB, IPP)

NI-Testgitter (ZBB, IPP)

Experimentiereinrichtungen mit überwiegend maschineller Fertigung sind der RFQ-Prototyp der ABT (Bilder 2 sowie 10, 11, Seite 44) sowie das teilgekühlte Ionengitter (Bild 3) für die Neutralteilcheninjektions-Teststrecke (Bild 17, Seite 48). Das in der Zentralabteilung Brennelemente- und Bestrahlungstechnologie (ZBB) entwickelte NI-Testgitter besteht z.B. aus dem Plasma-, dem Beschleunigungs- und dem Erdgitter sowie einer Deckplatte. Die Einzelgitter sind hutartig ineinander gesetzt und werden durch Isolatoren auf Abstand gehalten. Jedes Einzelgitter ist aus einem Edelstahlrahmen, einem eingeschweißten Edelstahlzylinder und einer hochtemperaturgelöteten Kupfergitterplatte aufgebaut. Der Innenradius der Wölbung der Kupferplatte beträgt 4,90 m und wurde auf einer

Karusselldrehmaschine nach Schablone kopiergedreht. In die Unterseite der Kupferplatte sind zwischen den Bohrungsreihen rechteckige Kühlrohre in Nuten eingelegt (Bild 4), die auf einer CNC-Fräsmaschine gefertigt wurden.

Nach dem Einlöten der Kühlrohre erfolgte die Bearbeitung auf Fertigmaß auf der Karusselldrehmaschine nach Schablone. Die Oberseiten der Gitterplatten wurden auf der Karusselldrehmaschine ebenfalls nach Schablone gefertigt. Die erforderliche Schablone selbst wurde auf einer CNC-Fräsmaschine hergestellt. Die Bearbeitung des Rahmens erfolgte auf konventionellen Bohr- und Fräsmaschinen, Dreharbeiten auf der Karusselldrehmaschine; die Endbearbeitung der Bohrungen, der Gewindebohrungen sowie der Auflagefläche für die Isolatoren erfolgte auf einer CNC-Fräsmaschine. Die Bohrungen in den Gitterplatten wurden auf einer programmgesteuerten Mehrachsen-Bohrmaschine mit entsprechender Meßeinrichtung hergestellt. Alle Bohrungen sind auf den Mittelpunkt der sphärischen Oberfläche des Plasmagitters mit dem Radius $R = 4,90 \text{ m}$ ausgerichtet [45].

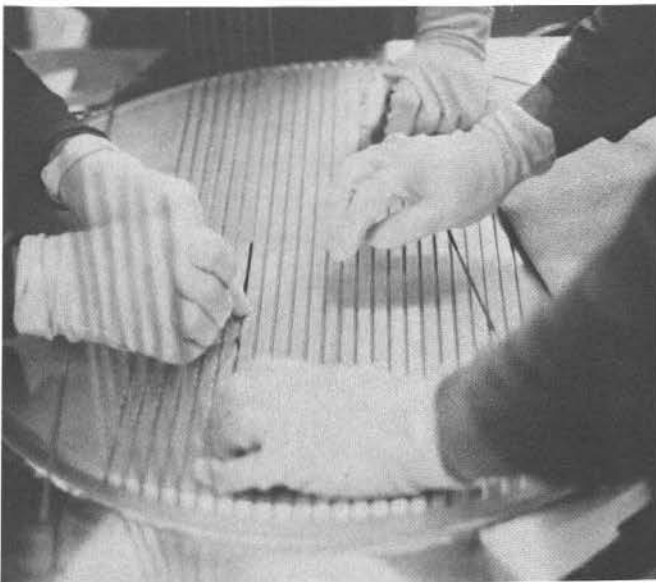


Bild 4
Ionengitter; Montage der Kühlrohre an der Unterseite der Gitterplatte

Manuelle Fertigung (Mechanik)

- Fertigung, Montage und Erprobung von Prototypgeräten und -apparaturen mit speziellen hochvakuum-, tieftemperatur-, feinwerk- und spektrometertechnischen Fertigungs- und Prüferfahrungen
- Vor- und Endmontage von Versuchs- und Betriebseinrichtungen in den Instituten, Projekten und Großversuchsanlagen

- Rezipienten, Rohrleitungen, Armaturen, Manipulatoren und Meßeinrichtungen für vakuum- und ultrahochvakuumtechnische Anwendungen
- Tieftemperaturgeräte und -apparaturen, Kryostaten, Kalt- und Flüssiggasleitungen
- Gas- und Hydraulik-Steuer- und -Versorgungskreisläufe für Versuchsstände und Betriebseinrichtungen
- Strahlrohreinbauten und Bestrahlungseinrichtungen an und in Forschungsreaktoren
- Spektrometer und Komponenten für Neutronen-, Elektronen-, Röntgen-, Gamma-, Laser- und Licht-Streuexperimente
- Komponenten, Peripherie- und Prototypgeräte für TEXTOR, FRJ-2 (DIDO) und andere Großversuchsanlagen
- Beschleunigerkomponenten

In allen Bereichen der experimentellen Forschung werden Geräte und Apparaturen als Versuchseinrichtungen verwendet, die nach der maschinellen Fertigung in den Mechanikerguppen oder unter deren

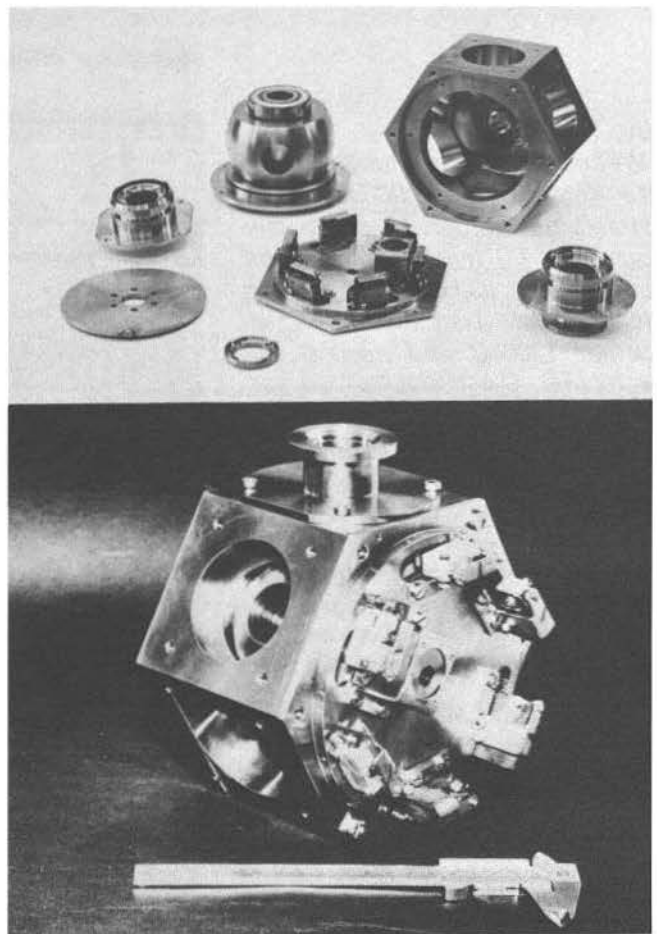


Bild 5
Kugelventil für die hydraulische Rohrpost am MERLIN (ZFR); oben: Einzelteile des Kugelventils



Bild 6

UHV-Rezeptient (IGV) mit Flanschen für Metaldichtungen; die UHV-Flansche und Rohrstopfen sind mit engen Form- und Lagetoleranzen ausgeführt; der Behälter ist für 350°C Ausheiztemperatur geeignet.

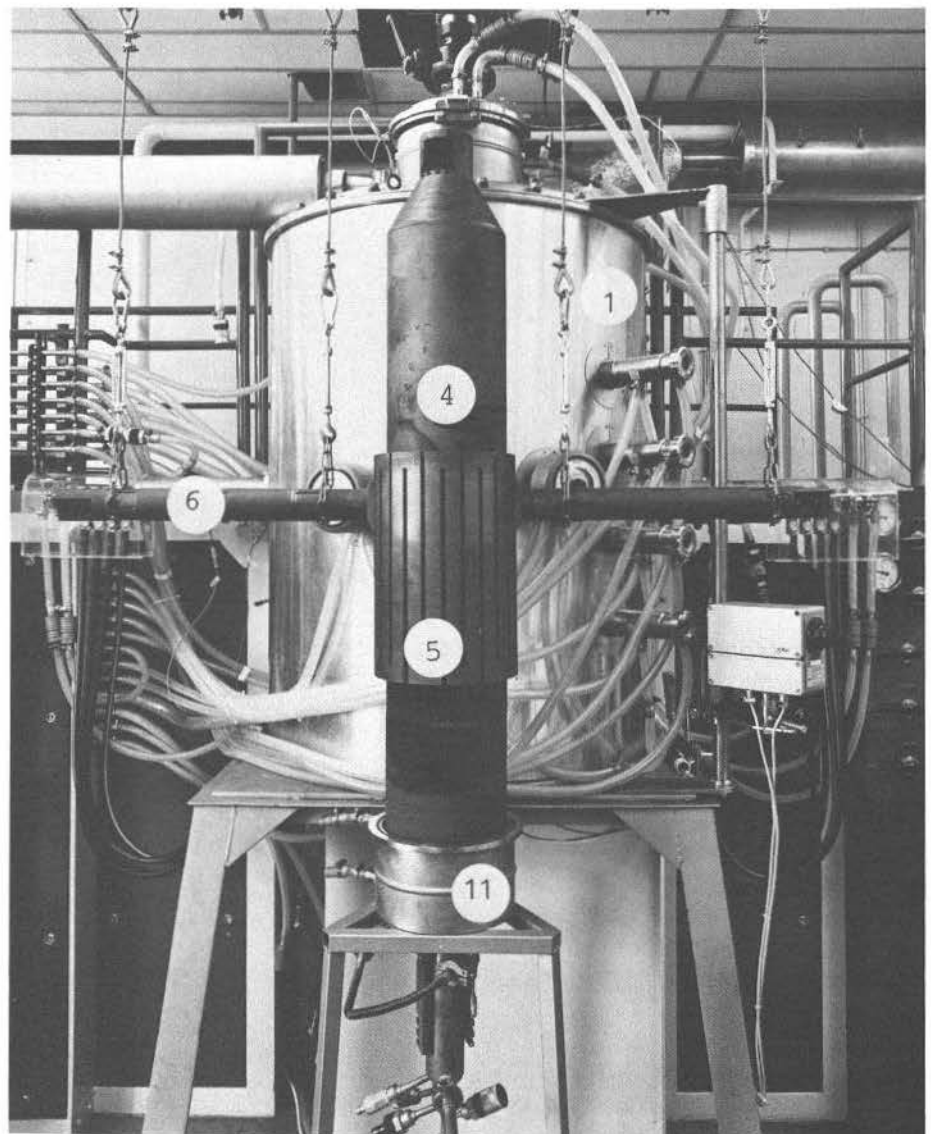
Mitwirkung aus Einzelteilen und Baugruppen (Bilder 5 und 6) montiert wurden. Es handelt sich dabei teils um Neuentwicklungen (Bild 7), teils um die Verbesserungen aufgrund inzwischen gewonnener experimenteller Erkenntnisse und Erfahrungen (Bild 8). Umfangreiche technische Änderungen und Ergänzungen lassen aber einen Rückgriff auf vorhandene Fertigungsunterlagen nur selten zu.

Aus fertigungs- und prüftechnischer Sicht enthalten Versuchseinrichtungen häufig gemeinsame hochvakuum-, tieftemperatur-, feinwerk- oder spektrometer-technische Auslegungs- und Herstellungsmerkmale, oder sie sind durch ähnliche physikalische oder chemische Verfahrenstechniken gekennzeichnet. Dementsprechend ist auch eine Aufgaben- und Know-how-Spezialisierung erforderlich; damit können Er-

Bild 7

Wirbelbett-Beschichtungsanlage für Kernbrennstoff (ICT); Brennstoffkerne werden in einem Beschichter (1) mit Pyrokohlenstoff aus Äthin (C_2H_2) und Propan (C_3H_8) bei Temperaturen zwischen 1200°C und 1600°C beschichtet. Die Hüllschichten verhindern die Freisetzung von radioaktiven Spaltprodukten aus den Brennstoffkernen. Zur Demonstration sind die keramischen Einbauten – Wirbelbettreaktor (4), Heizelement (5) mit den elektrischen Stromzuführungen (6) und Unterteil (11) – vor dem Beschichter (1) aufgebaut.

Fertigung und Montage der Anlage erfolgten durch Mechanikergruppen. Besondere Anforderungen wurden bei der Montage gestellt: Die in Vergabe gefertigten Keramikbauteile mußten angepaßt und exakt positioniert werden, um Kurzschlüsse zwischen stromführenden Teilen, Heizung, Reaktor und Außengehäuse des Beschichters zu vermeiden [32].



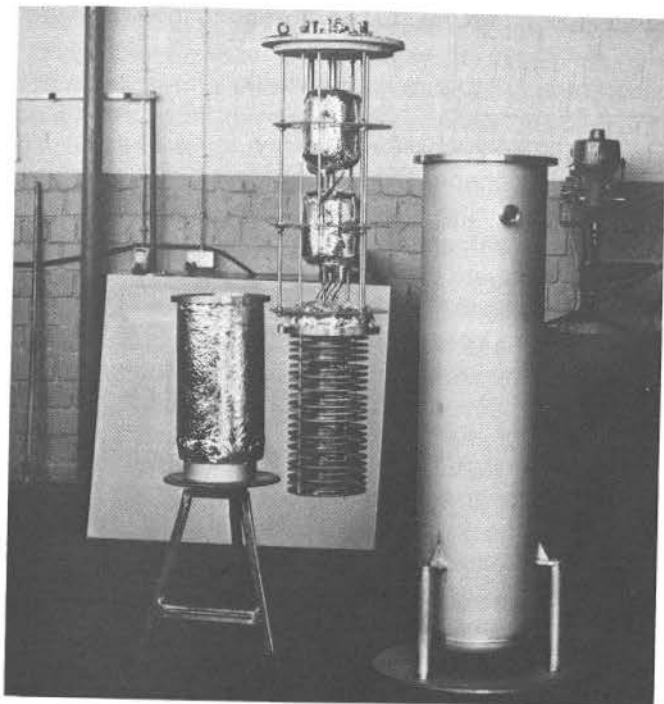


Bild 8
Xenon-Sublimations-Ausfrierfalle (ICT); zur Trennung von Xenon aus dem bei der Wiederaufbereitung von Kernbrennstoffen entstehenden Xe-Kr-N₂-Gemisch; links: Wärmestrahlungsschild; Mitte: Kryostateneinsatz der Ausfrierfalle mit zwei Gegenstromwärmetauschern (oben) und Sublimations-Ausfrierfalle (unten); rechts: Vakuummantel

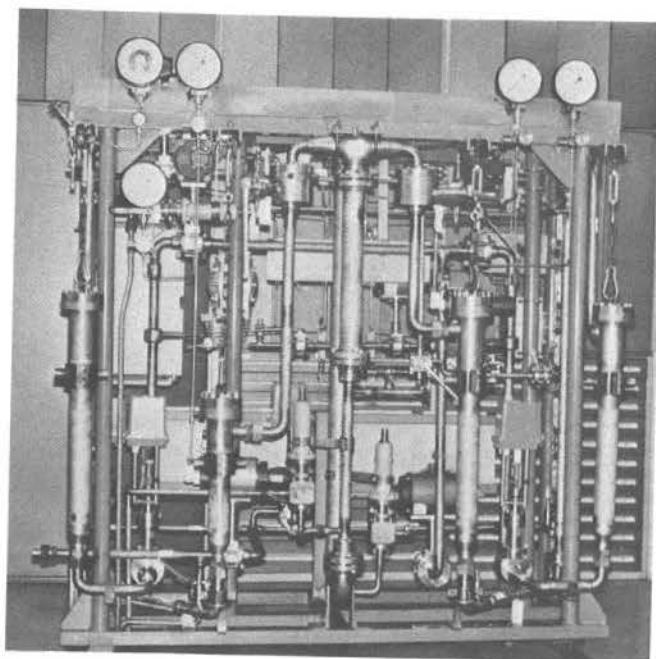


Bild 10
„Kreislaufrücklauf“ des Staubexperimentes (IRB/AVR) zum Anschluß an eine Gas-Entnahmestelle am AVR; ein Teilstrom der Primärgasrückführung wird zur Untersuchung des Ablagerungsverhaltens von Staub und Spaltprodukten in den Kreislaufrücklauf geleitet, der in diesem Fall selbst eine experimentelle Anordnung darstellt.

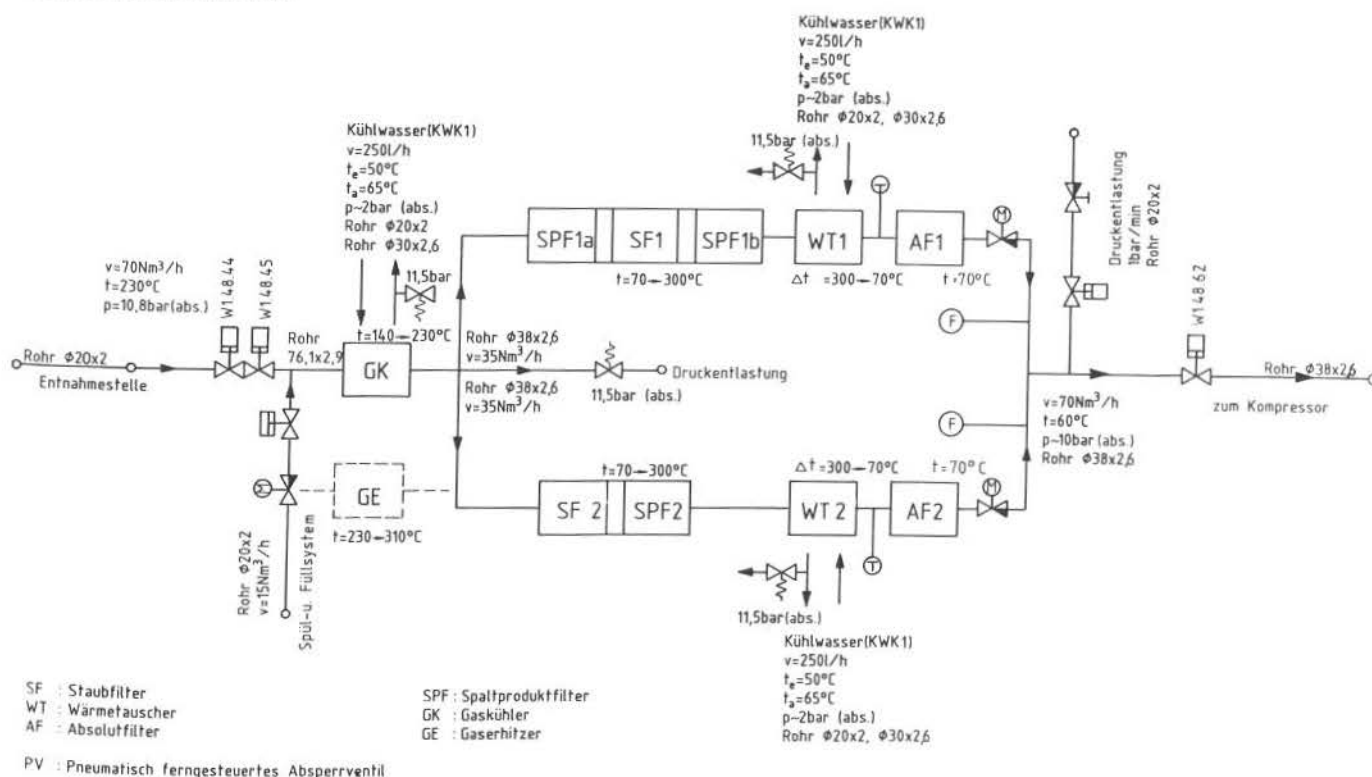


Bild 9
Staubexperiment (IRB, AVR); das Blockscheema zeigt die Anordnung der Wärmetauscher, Filter, Meß- und Stellglieder in einem Rohrleitungssystem, einer Experimentiereinrichtung, die der Primärgasentnahme dient und Staubablagerungsversuche ermöglicht. Die Komponenten sind in „Kreislaufrücklauf“ entspr. Bild 10 installiert, die sichere Handhabung und störungsfreien Betrieb gewährleisten.

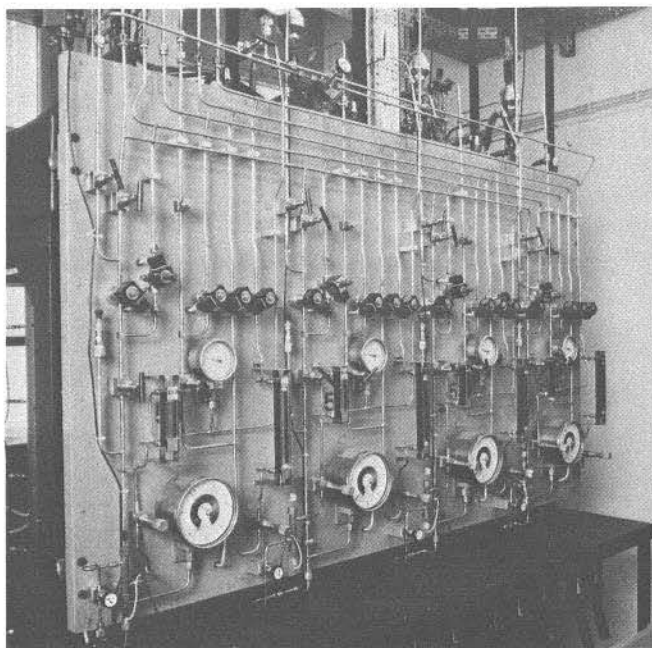


Bild 11
Gaskreis-Steuereinheit (IRW); Kreislaufschränk zur Medienversorgung und Erzeugung der Betriebsbedingungen für ein ZEMAK-Materialprüffeld

fahrungen in der manuellen Fertigung praktisch bei allen Aufträgen für experimentelle Forschungsvorhaben zentral nutzbar gemacht werden.

Sowohl für Versuchseinrichtungen in den Labors als auch für Peripherie und Komponenten von Großversuchsanlagen sind Rezipienten und zugehörige Armaturen mit Vakuum- und Ultrahochvakuum-Anwendungen zu bauen. Bei Tieftemperaturgeräten und -apparaturen stehen Kryostaten und deren Zusatzeinrichtungen im Vordergrund (Bild 8).

Für den Betrieb von Experimentiereinrichtungen sind zum Teil sehr komplexe Gas- und Hydraulik-Steuer- und versorgungskreisläufe erforderlich (Bilder 9 bis 11). Die notwendigen elektrischen Instrumentierungen mit meß-, steuer- und regeltechnischen Aufgaben können hier nur in kleinerem Umfang bearbeitet werden; sie werden z.B. von TD-EV hergestellt.

Besonders hohe Anforderungen stellen Strahlrohreinbauten und Bestrahlungseinrichtungen (Loops), mit denen die experimentellen Möglichkeiten der Forschungsreaktoren erschlossen werden. Während die Bestrahlungseinrichtungen meist der Neutronen- und

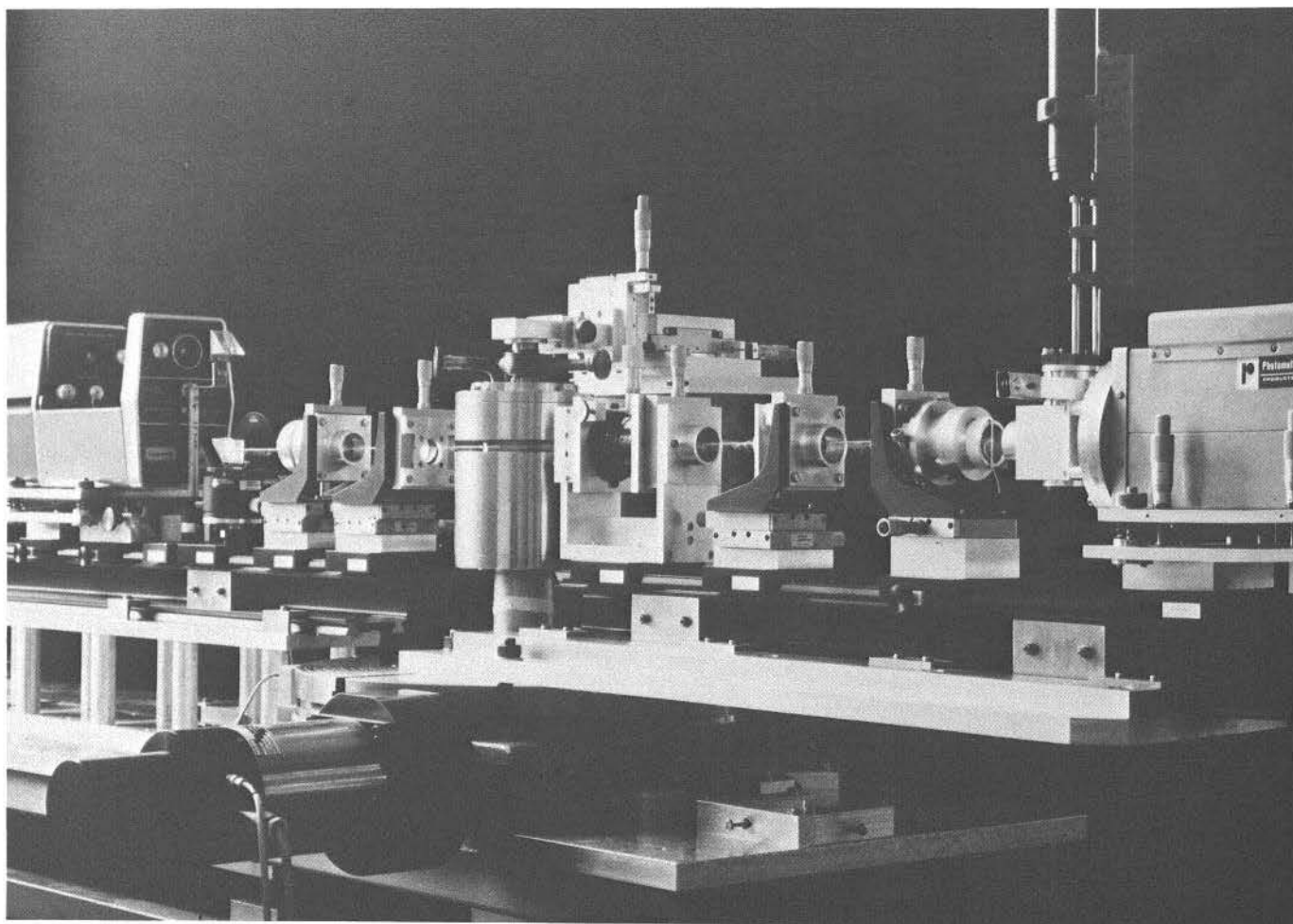


Bild 12
Funktionsprüfung des Laser-Lichtspektrometers zur lichtoptischen Untersuchung von Polymer-Strukturen (IFF-5)

Gamma-Probenbestrahlung zur Materialuntersuchung von Strahlenschäden dienen, werden Strahlrohrreinbauten zur horizontalen Extraktion thermischer und subthermischer Neutronen benötigt, um damit Materialstrukturuntersuchungen durchzuführen. Für den Transport der Neutronen sind Neutronenleiter und -kanäle erforderlich, für die Neutronenstreuung Neutronenspektrometer und -diffraktometer mit deren Komponenten, z.B. Monochromatoren, Analysatoren, Detektoren, Chopper und Geschwindigkeitsselektoren. Eine Übersicht über die hierbei der Ingenieur-, Fertigungs- und Prüftechnik gestellten Anforderungen geben die Gerätebeschreibungen zu den Neutronenspektrometern auf Seite 91 ff.

Andere Experimente werden nicht mit Neutronen, sondern beispielsweise mit Elektronen-, Röntgen-, Gamma- und Licht-(Laser-)Strahlen durchgeführt, die zwar unterschiedlich große, aber technisch teilweise ähnliche Spektrometer erfordern (Bild 12). Die Genauigkeitsanforderungen an das Lauf- und Positionierverhalten liegen bei einem Teil dieser feinmechanischen Geräte an der Grenze des derzeit Machbaren.

TEXTOR-HF-Antenne

Komplexe technische Anforderungen an die Arbeitsvorbereitung und Fertigung werden bei der Herstellung von Komponenten und experimentellen Geräten der Großversuchsanlagen gestellt, wie die TEXTOR-Hochfrequenzantenne beispielhaft zeigt.

Die Ion Resonance Cyclotron Heating-(IRCH-)Antenne (Bild 13) überträgt Hochfrequenz von $2 \times 1,5$ MW Leistung auf das TEXTOR-Plasma und stellt neben der Ohmschen Heizung und der Neutralteilcheninjek-

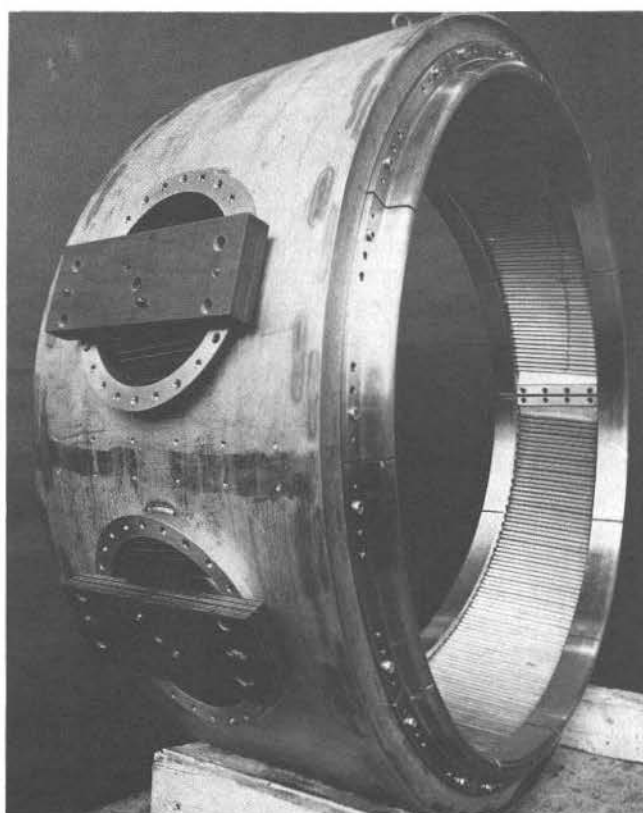
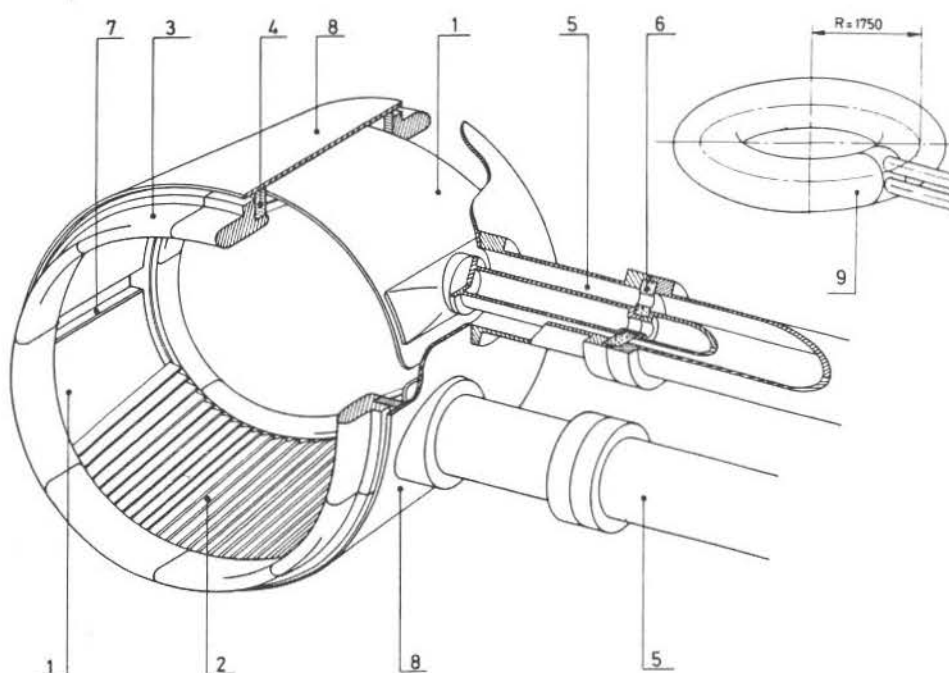


Bild 14

Für den Einbau in den TEXTOR-Torus fertig vormontierte HF-Antenne: Sichtbar sind der lamellenförmige, elektrostatische Schutzschild, die seitlich angeordneten Schutzlimiter und der äußere Linermantel mit den Anschlußflanschen für die HF-Koaxialleiter.

Bild 13
TEXTOR-HF-Antenne (IPP);
konstruktives Konzept und
Anordnung im TEXTOR-Torus

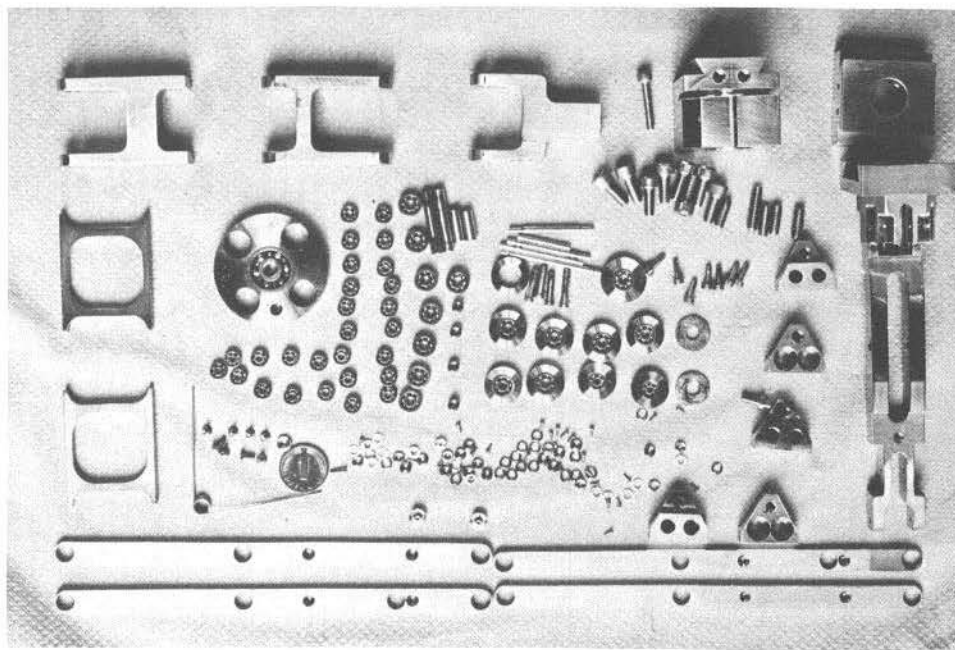
- 1 Zentraler Leiter
- 2 Elektrostatischer Schutzschild
- 3 Schutzlimiter
- 4 Stützflansch
- 5 Koaxialleiter
- 6 Abstützung
- 7 Kurzschlußverbindung
- 8 Linermantel
- 9 TEXTOR-Liner



tion eine weitere Möglichkeit der Plasmaheizung dar. Zwei horizontal geteilte Antennenhälften sind dazu in einer Sektion des TEXTOR-Liners integriert (Skizze rechts), jede Hälfte wird von außen über Koaxialleiter von zwei HF-Generatoren gespeist.

Die Antenne enthält einen zentralen Leiter, der einen elektrostatischen Schutzschild konzentrisch umfaßt und für jede Antennenhälfte aus einem 5 mm dicken Edelstahlstreifen von ca. 1,4 m Länge in einer variablen Breite hergestellt ist, die der toroidalen Geometrie des TEXTOR-Liners entspricht. Der Schutzschild besteht aus V-förmigen Lamellen, die unter einem mittleren Winkel von 55° zur Mantelfläche in den umlaufenden Nuten der Stützringe seitlicher Schutzlimiter angeschweißt sind, und zwar jeweils abwechselnd rechts und links als Fest- und Loslager, was wegen der hohen Wärmebelastung bis 500°C notwendig ist. Die dem Energietransfer proportionale optische Durchlässigkeit des elektrostatischen Schutzschildes beträgt bei dieser Lamellenanordnung ca. 70 %. Die Schutzlimiter sind auswechselbar, bestehen aus Stahl oder Grafit und schützen die Antennenkomponenten vor dem heißen Plasma.

Die HF-Antenne entstand in gemeinsamer Konstruktionsarbeit der Ecole Royale Militaire, Brüssel, des CEN, Mol, und des IPP unter Mitwirkung der TD-MW-Betriebsmitteltechnik; die Antennenversion mit Schutzlimiter aus Stahl wurde danach in TD-MW gefertigt. Bild 14 zeigt die komplett vormontierte Antenne mit dem lamellenförmigen elektrostatischen Schutzschild, den seitlich angeordneten Schutzlimitern, dem äußeren Linermantel aus Edelstahl sowie die zwei Flanschanschlüsse für die HF-Koaxialleitungen. Die vormontierte Antenne wird mit dem TEXTOR-Liner aus Inconel mittels zweier Rundschweißnähte am äußeren Linermantel elektrisch und mechanisch verbunden.



Im Zuge des ALT II-Experimentes (Advanced Limiter Technology II) mit axial umlaufendem TEXTOR-Hauptlimiter in der unteren Hälfte des TEXTOR-Torus wurde eine Neuentwicklung der HF-Antenne erforderlich. Je zwei jetzt aus Viertelsegmenten bestehende Antennenhälften liegen einander in der oberen Hälfte des TEXTOR-Torus – um 180° versetzt – gegenüber. Sie werden gegenwärtig zusammen mit ALT II-Komponenten in TD-MW gefertigt.

Feinmechanik, Funkenerosion

- Maschinelle und manuelle Fertigung, Montage und Erprobung von kleinen Einzelteilen, Baugruppen und Geräten mit besonders hohen Genauigkeitsanforderungen
- Funkenerosive Herstellung und Bearbeitung von Einzelteilen mit besonderen geometrischen bzw. werkstofftechnischen Anforderungen
- Horizontaldrehen bis 300 mm \varnothing x 600 mm Spitzenweite
- Horizontal- und Vertikalfräsen bis 400 x 200 x 340 mm Arbeitsraum
- Feinbohren ab 0,05 mm \varnothing
- Gravieren bis 440 x 330 mm Aufspannfläche, Schriftgröße 2 bis 20 mm
- Senkerodieren bis 503 x 295 mm Arbeitsfläche, bis 230 mm Werkstückhöhe
- Drahterodieren bis 160 mm Länge, 80 mm Tiefe, 30 mm Werkstückhöhe, Drahtdicke von 0,07 mm bis 0,45 mm

*Bild 15
Einzelteile des UHV-Manipulator-Unterteils für die Molekularstrahlapparatur (IGV); (Gerätebeschreibung siehe Seite 14)*

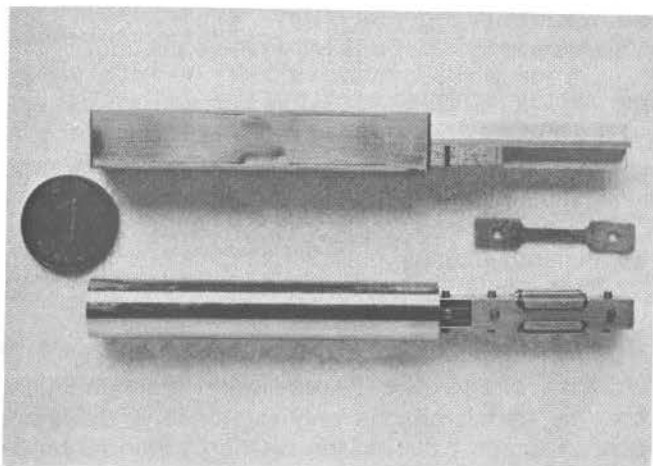


Bild 16
„Miniproben“; Zug- und Kerbschlagproben für ein Materialuntersuchungs- und -Vergleichsprogramm (ZBB) nebst Probenhalter und Probenkapsel

Die Probenkammern und Proben der Versuchseinrichtungen, die Manipulatoren für Vakuum- und Ultrahochvakuum-Apparaturen, Strahlenmeßgeräte, Spektrometer und deren Komponenten erfordern sowohl sehr kleine Einzelteile als auch Teile mit sehr kleinen Toleranzen und Passungen (Bild 15). Sie werden in der Feinmechanik hergestellt und zu feinmechanischen Geräten montiert, die höchste Anforderungen an Spielfreiheit, Lauf- und Positioniergenauigkeit erfüllen. Ein weiterer Aufgabenbereich ist die Herstellung kleinster metallischer Materialproben mit besonderer Oberflächenqualität (Bild 16).

Typische Fertigungsbeispiele der Feinmechanik sind die Detektoreinheit (Bild 17) und das Goniometer (Bild 18) des Photoelektronen-Spektrometers (Bild 6, Seite 16). Die Detektoreinheit besteht aus ca. 300

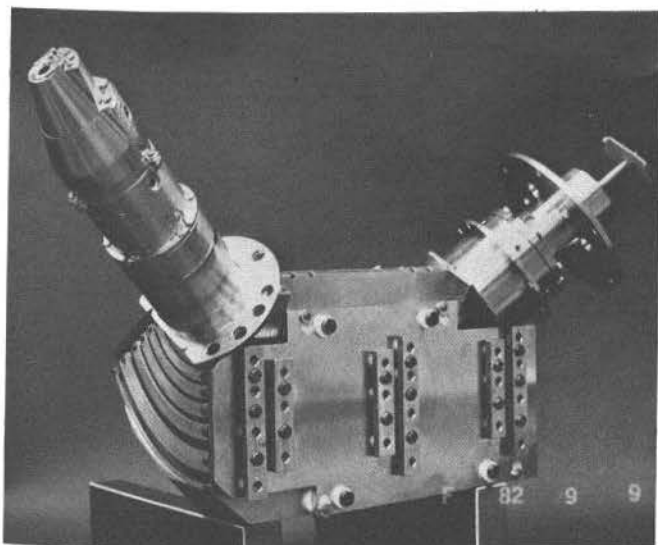


Bild 17
Detektoreinheit des Photoelektronenspektrometers (IGV); ohne Detektorkristall-Goniometer

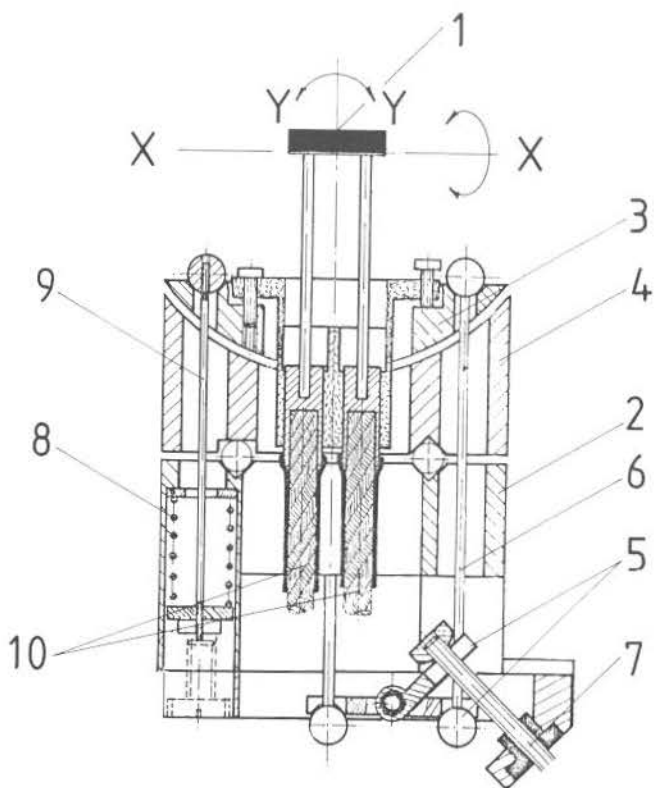


Bild 18
Goniometer zur Aufnahme des Detektorkristalls, Photoelektronenspektrometer (IGV)

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| 1 Detektorkristall | 6 Zugseil |
| 2 Goniometer | 7 Zugseil |
| 3 Oberschlitten | 8 Druckfeder |
| 4 Unterschlitten | 9 Zugseil |
| 5 Doppelarmiger Hebel | 10 Stromzuführung |

Bauteilen unterschiedlichen Materials, wie Kupfer, Edelstahl, amagnetischem Stahl, Glas und Keramik, die mit engen Maß-, Form- und Lagetoleranzen zu fertigen und zu montieren sind.

Das Goniometer dient zur Aufnahme des Detektorkristalls; Ober- und Unterschlitten sind jeweils um die Achsen x-x und y-y um $\pm 5^\circ$ schwenkbar. Die Verstellung des Oberschlittens erfolgt durch einen Kipphelbel über Seilzüge gegen eine Feder, die auch die Rückstellung in die Ausgangslage bewirkt. Für die Verstellung des Unterschlittens ist ein entsprechender Mechanismus vorhanden. Zum Ausheizen des Kristalls bis 1200 K sind am Probenhalter Stromzuführungen für ca. 100 A angebracht.

Alle Bauteile der Detektoreinheit einschließlich Goniometer wurden zur Kontrolle der technischen Funktion vormontiert, danach wieder demontiert, entfettet und zum Teil gebeizt. Die Endmontage einschließlich der elektronischen Bauteile mußte unter Reinraumbedingungen erfolgen.

Bestimmte geometrische Formen, vor allem asymmetrische oder prismatische Bohrungen, können nur funkenerosiv oder mit Ultraschall-Abtragverfahren

hergestellt werden. Zur funkenerosiven Bearbeitung dient eine Elektrode, deren Kontur der gewünschten Lochform entspricht. Die Materialabtragung am Werkstück erfolgt in einem Dielektrikum, z.B. Petroleum, durch punktuelle Materialverdampfung mittels elektrischem Lichtbogenüberschlag zwischen Elektrode und Werkstück. Dieses Verfahren ermöglicht die Bearbeitung aller elektrisch leitfähigen Werkstoffe zur Herstellung geometrischer Formen, welche mit den konventionellen mechanischen Verfahren spanend nicht mehr formbar sind (Bild 19). Durch Drahterodieren lassen sich besonders feine Trennschnitte und Schlitzte herstellen.

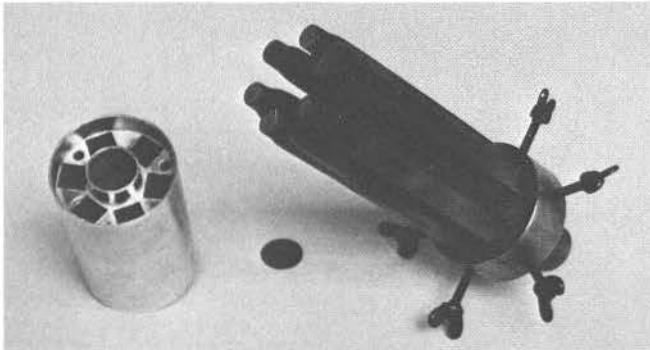


Bild 19

Bestrahlungskapsel für Mini-Zug- und -Kerbschlagproben (ZBB); in der zylindrischen Kapsel sind zur Probenaufnahme Kammern mit quadratischem Querschnitt vorgesehen. Die Fertigung der quaderförmigen Probenkammern erfolgte durch funkenerosive Bearbeitung. Dazu ist ein Werkzeug (rechts) erforderlich, dessen Kontur dem gewünschten Querschnitt der Probenkammer entspricht. Zur rationelleren Fertigung ist das Werkzeug aus sechs einzelnen Elektroden aufgebaut und an einem Werkzeughalter befestigt, so daß die komplette funkenerosive Bearbeitung in nur einem Arbeitsgang möglich ist.

Schleiftechnik, Werkzeugschleiferei

- Oberflächenbearbeitung von Materialproben sowie von Einzelteilen für Versuchs- und Betriebseinrichtungen mittels schleiftechnischer Verfahren
- Werkzeugvorbereitung und -instandhaltung, Ausgabe und Verleih von Sonderwerkzeugen und -vorrichtungen an alle Werkstätten der KFA
- Rundschleifen bis 250 mm Ø x 1500 mm Schleiflänge
- Flachsleifen bis 400 x 1000 mm Arbeitsfläche
- Profilschleifen
- Planläppen bis 400 mm Ø
- Honen bis 520 mm Ø x 1700 mm Arbeitslänge

- Werkzeugvoreinstellung für Bohrwerks-, NC-Dreh- und NC-Fräswerkzeuge
- Zentrumschleifen bis 90 mm Ø x 1500 mm Spitzenweite
- Anfertigung von Sonderwerkzeugen für die maschinelle Bearbeitung
- Instandsetzung und Scharfschleifen von Reibahlen, Dreh-, Bohr- und Fräswerkzeugen

Materialproben sowie Einzelteile in Forschungsgeräten, die translatorische und rotatorische Bewegungen ausführen bzw. mit ihren Oberflächen führende, justierende oder dichtende Funktionen erfüllen müssen, können häufig hinsichtlich Toleranzen und Oberflächenqualität nicht durch Dreh- und Fräsbearbeitung allein fertiggestellt werden. Als Feinstbearbeitung ist dann meist Schleifen, Läppen oder Honen erforderlich. Es handelt sich dabei um sowohl maschinell als auch zeitlich sehr aufwendige und damit teure zusätzliche Bearbeitungsschritte, die nur in technisch-funktionell begründeten Anwendungsfällen gefordert werden sollten.

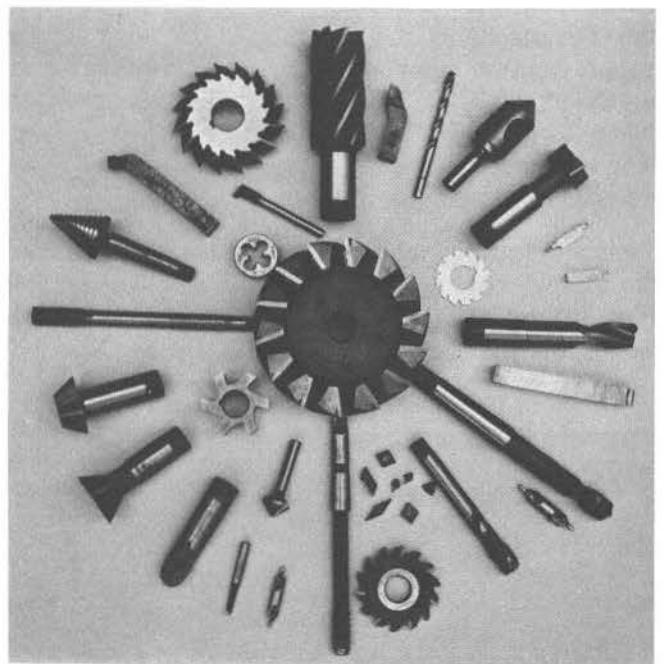


Bild 20

Standardmäßig vorhandene Werkzeuge für Bohr-, Dreh- und Fräsmaschinen werden geschärft und instandgehalten. Darüber hinaus sind Sonderwerkzeuge wie Stufenbohrer, Spiralbohrer und Senkwerkzeuge für unterschiedliche Werkstoffe – Mangan, Cr-Ni-Stähle, Titan, Hastelloy, Kupfer und unterschiedliche Kunststoffe – anzufertigen. Ferner müssen Reibahlen auf Sondermaße in Abhängigkeit von Bearbeitungsproblemen geschliffen, hartmetallbestückte Kreissägeblätter geschärft und HSS- bzw. HSSE-Metallkreissägeblätter neu verzahnt werden.

Bei NC-Werkzeugmaschinen sowie – abhängig vom Bearbeitungsproblem – bei größeren Werkzeugmaschinen ist eine Werkzeugvoreinstellung vor Aufnahme des Werkzeuges in die Maschine erforderlich. Sie wird in der Schleiftechnik durchgeführt, die auch die Aufgaben der zentralen Werkzeugschleiferei wahrnimmt (Bild 20).

Keramik- und Graphitbearbeitung

- Maschinelle und manuelle Herstellung von Einzelteilen und Baugruppen aus Keramikwerkstoffen und Graphit
- Herstellung von Proben aus keramischen Werkstoffen für Materialuntersuchungen
- Trennen bis 400 mm Länge, bis 40 mm Werkstückdicke
- Drehen bis 200 mm \varnothing x 500 mm Spitzenweite
- Horizontal- und Vertikalfräsen bis 400 x 175 x 300 mm Arbeitsraum
- Rundschleifen bis 250 mm \varnothing x 460 mm Länge
- Flachsleifen bis 175 x 400 mm Arbeitsfläche
- Läppen bis 400 mm \varnothing
- Polieren bis 400 mm \varnothing

Die Bearbeitung keramischer Werkstoffe nimmt sowohl für die Probenherstellung als auch für Gerätekomponenten zunehmend maschinelle und personelle Kapazität in Anspruch. Überwiegend werden oxidische und nichtoxidische Keramiken bearbeitet. Die Werkstoffpalette umfaßt Aluminiumoxid, Aluminiumtitanat, Zirkonoxid, Magnesiumoxid, Siliziumcarbid und Siliziumnitrid sowie einige Sonderkeramiken. Je nach Herstellungsverfahren und je nach Verarbeitungszustand der Keramik und des Graphits sind

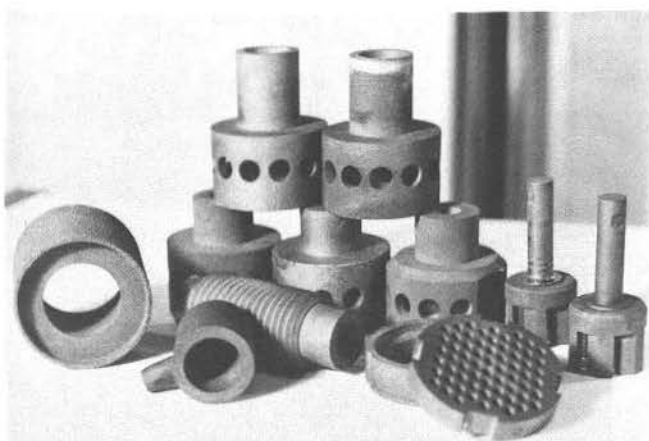


Bild 21
Rohlinge aus SiC und Graphit als Ausgangsmaterial für die Probenherstellung

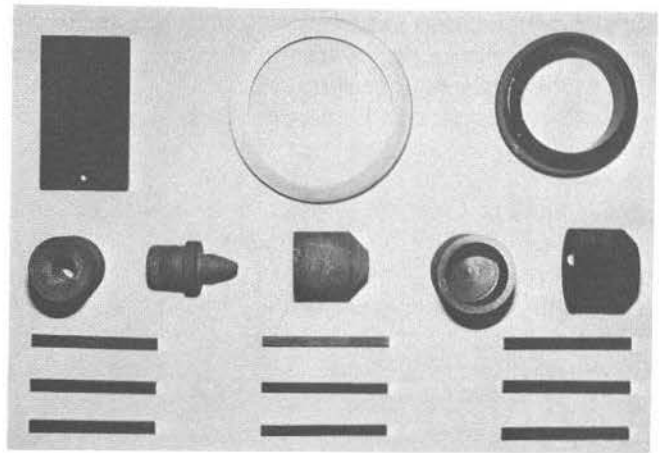


Bild 22
Fertig bearbeitete Keramik- und Graphitproben

spezielle mechanische Bearbeitungsverfahren beim Trennen, Bohren, Schleifen, Läppen und Polieren notwendig. Es sind sowohl bei der Probenherstellung wie auch bei der Endbearbeitung von Gerätekomponenten hohe Anforderungen an die geometrische Genauigkeit (z.B. Passung) und an die Oberflächengüte zu erfüllen (Bilder 21 und 22).

Kunststofftechnik

- Maschinelle und manuelle Fertigung und Montage von Einzelteilen, Geräten und Apparaturen aus Kunststoffen für Forschungszwecke, Modellbau
- Thermoplaste und Duroplaste
- Spanende Formung sowie Gießen, Kleben, Schweißen, Nieten, Schrauben, Polieren
- Spanlose Formung durch Biegen, Abkanten, Tiefziehen, Freiform-Blasen

Kunststoffe werden wegen ihrer besonderen chemischen und physikalischen Eigenschaften als Geräte- und Apparatebauwerkstoffe in praktisch allen Experimentier- und Betriebseinrichtungen eingesetzt. Darüber hinaus eignen sich diese Werkstoffe wegen ihrer relativ einfachen maschinellen und manuellen Verarbeitbarkeit besonders gut zum Bau von Modellen mit Funktionscharakter.

Die experimentellen Aufgaben erfordern die Verarbeitung hauptsächlich folgender Kunststoffe

THERMOPLASTE

- Acrylglas (Plexiglas, PMMA)
- Polyvinylchlorid (PVC)
- Polyethylen (PE)
- Polypropylen (PP)
- Polytetrafluorethylen (PTFE)
- Polycarbonat (PC)
- Polystyrol (PS)

DUROPLASTE

- Hartgewebe (Hgw)
- Hartpapier (Hp)
- Kunstharz-Preßholz (KP)
- Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)
- Gießharz

Kunststoffe werden mit den bekannten Verfahren der spanenden Formung bearbeitet, durch Schweißen und Kleben miteinander verbunden, durch Gießen sowie mit mechanischen Umformtechniken spanlos geformt. Schweißbar sind nur Thermoplaste, wobei hauptsächlich das Heizelement- und das Warmgas-schweißen, das Wärmeimpuls- und das Rotations-schweißen angewendet werden. Diese Arbeiten erfordern jeweils eine besondere Schweißnahtvorbereitung und eine auf den jeweiligen Einzelfall abgestimmte Druck- und Temperaturführung in den Schweißnahtzonen.

Kunststoffe können besonders gut durch Kleben miteinander verbunden werden, wenn die Klebestellen richtig vorbehandelt, geeignete Kleber verwendet und die zu klebenden Teile klebegerecht geformt werden. Sie können sowohl untereinander als auch mit allen anderen Werkstoffen verklebt werden.

Festbett-Umlaufreaktor (IBT)

Zwei Fermenter für biotechnische Versuche zeigen beispielhaft die Anforderungen an die Kunststofftechnik. Für die kontinuierliche anaerobe Behandlung von Brüdenkondensaten der Zellstoffindustrie, die Schadstoffe wie Essigsäure, Furfural, Methanol und oxidierte Schwefelverbindungen enthalten, wurde im Institut für Biotechnologie (IBT) ein Festbettumlaufverfahren entwickelt (Bild 23). Der Umlaufreaktor ist mit einer Festbettbeschüttung – Lavagestein oder poröse Glaskugeln – und mit Brüdenkondensat gefüllt. Das poröse Material dient zur Aufnahme von Bakterien, die die Reinigung des umlaufenden Kondensates durch anaerobe mikrobielle Behandlung bewirken.

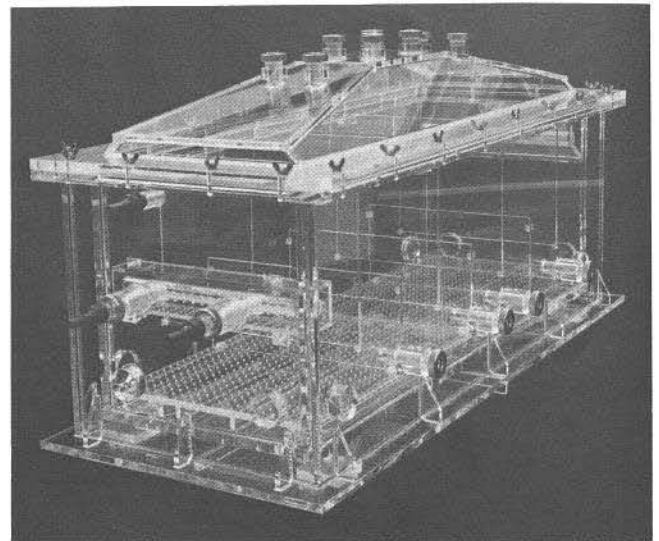


Bild 24
Flacher Fermenter (IBT); Festbettumlaufreaktor zur anaeroben mikrobiellen Behandlung von Brüdenkondensat

Am Fuß des Reaktors wird Brüdenkondensat kontinuierlich zugeführt und mit dem Flüssigkeitsumlauf gemischt; am Kopf des Reaktors werden die gereinigte Flüssigkeit und das Biogas abgeführt; eine pH-Wert-Einstellung des Umlaufes erfolgt durch Zugabe von Lauge. Der Wirkungsgrad des Fermenters ist u.a. abhängig von der Größe der mit Mikroorganismen besetzten Oberfläche und von der Kontaktzeit, die die umlaufende Flüssigkeit mit den Mikroorganismen hat.

Als erste Variante wurde ein flacher Fermenter (Bild 24) gebaut. Er ist aus Acrylglasplatten in den Abmessungen von 1400 mm Länge, 600 mm Breite und 655

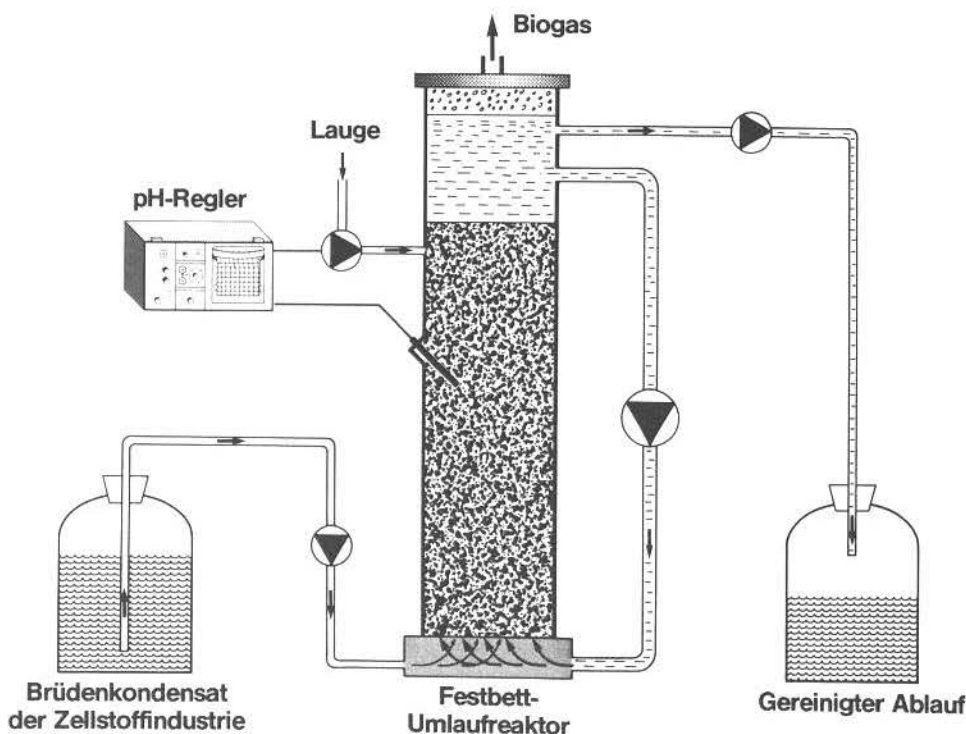
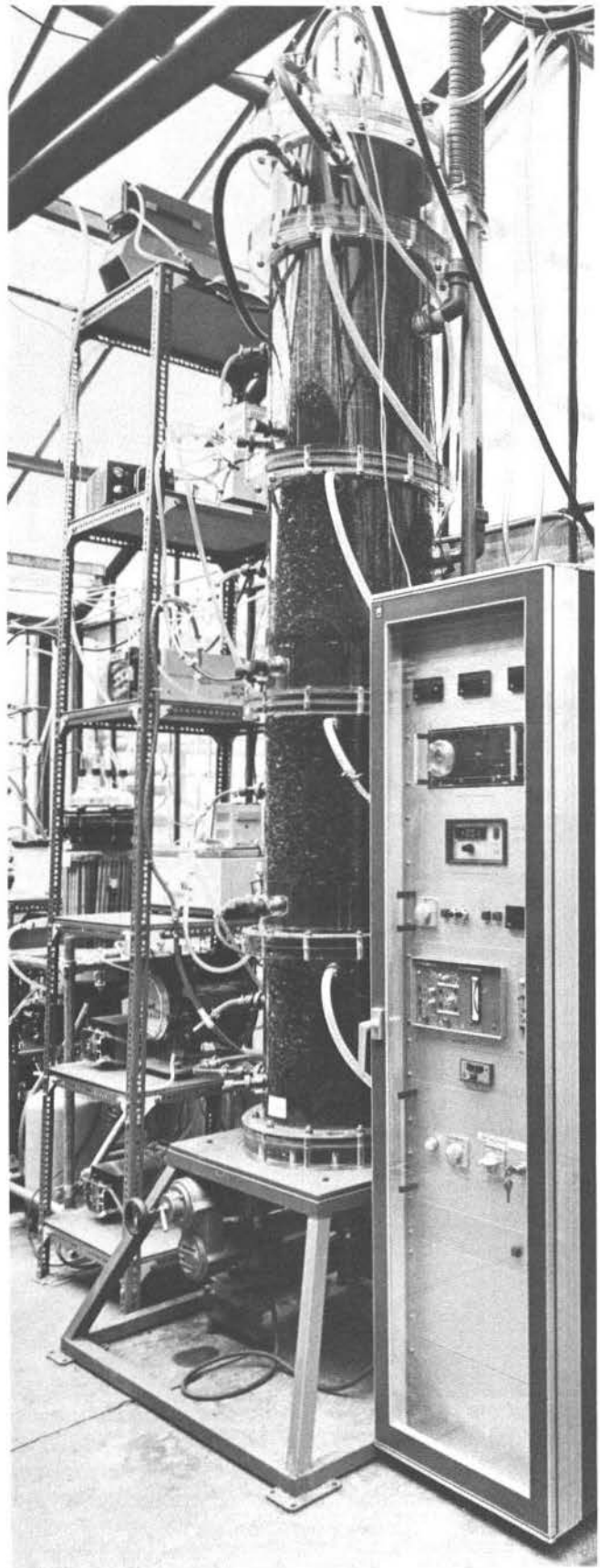


Bild 23
Festbett-Umlaufreaktor (IBT); Funktionsschema

mm Höhe gefertigt und enthält zwei ineinandergesetzte Becken, die umlaufend und am Boden einen Zwischenraum von 25 mm für die Thermostatisierung haben.

Am oberen Rand schließt ein Flansch das Doppelbecken ab, das wiederum durch einen dachförmigen Deckel mit Meßanschlüssen flüssigkeitsdicht verschlossen werden kann. Die an den Seiten angebrachten Anschlüsse sind für Temperaturmessungen und Probenentnahmen bestimmt. Im Innenteil des Beckens eingesetzte Trennwände von verschiedener Höhe verlängern die Durchlaufströmung. Der Fermenter ist zur Aufnahme von ca. 150 kg Trägermaterial für Mikroorganismen einschließlich Flüssigkeit ausgelegt.

Als zweite Variante wurde ein Fermenter in Modulbauweise (Bild 25) gefertigt, dessen einzelne Umlaufreaktor-Module sowohl mit gleichartigem Brüdenkondensat gemeinsam wie auch mit unterschiedlichem Kondensat einzeln beschickt werden können. Der einzelne Modul (460 mm Ø x 600 mm Höhe) besteht aus zwei ineinandergesetzten Acrylglaszylindern zur Aufnahme der Schüttung; der innere Zylinder ist unten durch eine Lochplatte und oben durch die Biogasabsaugung abgeschlossen; der Ringspalt zwischen den Zylindern dient der Thermostatisierung des Systems. Der modulare Fermenter stellt im Vergleich zur flachen Ausführung (Bild 24) eine geometrische Optimierung zur Lösung des Problems der zu schnellen Verschlämzung der Festbetschüttung dar.



*Bild 25
Fermenter in Modulbauweise (IBT); geometrisch optimierte Lösung eines Festbettumlaufreaktors zur anaeroben mikrobiellen Behandlung von Brüdenkondensaten*

Glastechnik

- Entwicklung, Konstruktion, Herstellung und Erprobung von Instrumenten, Experimentiergeräten und -apparaturen aus Borsilikat- und Quarzglas
- Mechanische Glasbearbeitung durch Trennen, Drehen, Fräsen, Bohren, Schleifen
- Manuelle Glasbearbeitung durch Warmformung
- Tempern Borsilikat- (Normal-) Glas bis 550° C, Quarzglas bis 1130° C
1450 x 450 x 300 mm
Ofenraum
- Glas-Klebe- und -Ätzarbeiten
- Glas-Metall-Verbindungen
- Trennen bis 500 x 500 mm Arbeitsbereich, bis 100 mm Tiefe
- Drehen bis 200 mm Ø x 500 mm Spitzenweite
- Horizontal- und bis 350 x 300 x 50 mm
Vertikalfräsen Arbeitsraum
- Bohren von 1 bis 50 mm Ø

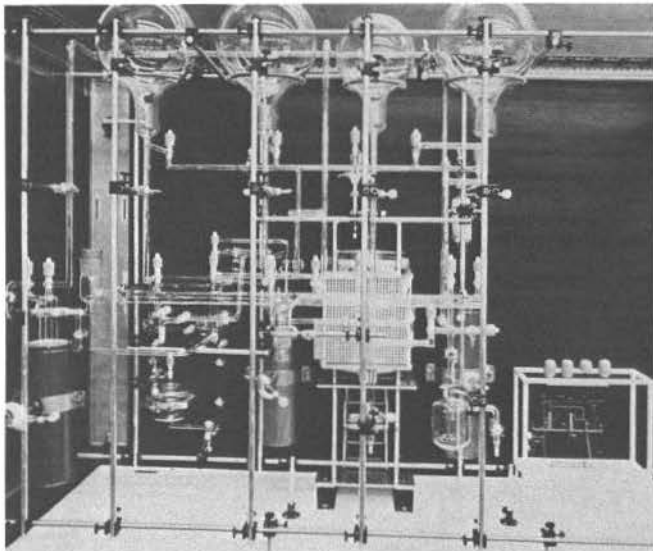


Bild 26
Diffusions-Versuchs-Anlage DIVA (ISF); Voraussetzung für die rechnerische Behandlung von Diffusionsvorgängen korrosiver Gase und Dämpfe (O_2 , H_2O , CO_2) an Brennelementen, Graphitkugeln und graphitischen Reaktoreinbauten ist die experimentelle Untersuchung der Diffusionskoeffizienten [33].

Die Apparatur besteht aus dem Meßkreislauf mit Reaktions-/Diffusions-Zelle, Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle und V-Punkt-Generator, aus dem Vakuumsystem mit Vor- und Turbomolekularpumpe sowie aus dem Wasserstoffvorratskolben und Reaktionsgefäßen zur Wasserstoffherzeugung.

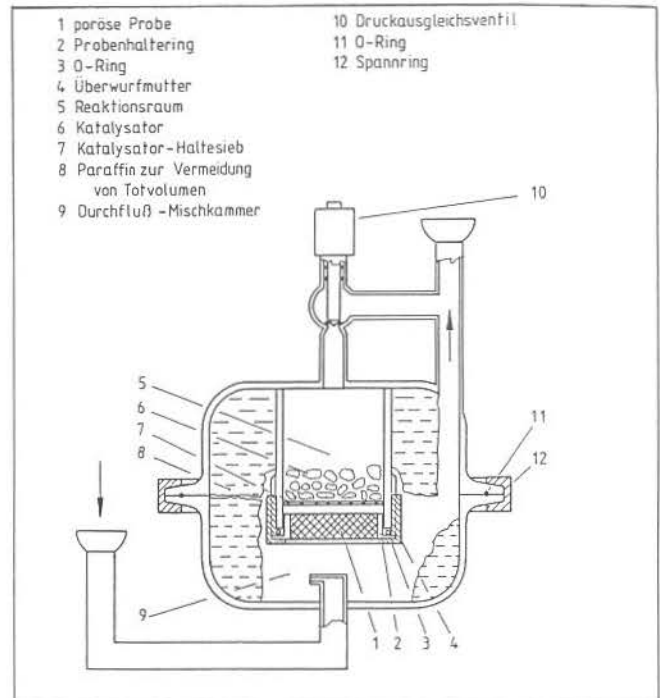


Bild 27
Kernstück der Anlage (Bild 26) ist die Reaktions-Diffusions-Zelle nach Hugo-Vicke mit den Hauptkomponenten:

- 1 Poröse Graphitprobe
- 5 Reaktionsraum mit Katalysator
- 9 Durchflußmischkammer

Das Meßverfahren beruht auf der Erfassung der katalytischen Umwandlung von Para- in Ortho-Wasserstoff mittels einer Wärmeleitfähigkeitsmeßzelle. Im Versuch wird deshalb ein in der Apparatur erzeugtes 50% Para- und 50% Ortho-Wasserstoffgemisch in die Durchflußmischkammer geleitet; das durch die Graphitprobe diffundierende H_2 -Gemisch wird durch den Katalysator völlig in Ortho-Wasserstoff umgewandelt. Die Menge des katalytisch umgewandelten Ortho-Wasserstoffes ist ein Maß für den durch die Probe diffundierten Wasserstoff und ermöglicht die Berechnung des Diffusionskoeffizienten [33].

Glastechnisch war die Versuchsanlage durch den umfangreichen apparativen Aufbau, die Dichtigkeitsforderungen und durch den komplexen Aufbau der Meßzelle geprägt.

Forschungsgeräte und -apparaturen aus Glas werden vor allem in den chemischen und in den lebenswissenschaftlichen Forschungsbereichen benötigt.

Alle komplexeren Apparaturen werden in Zusammenarbeit mit dem Experimentator in der Glastechnik entwickelt, konstruiert und hergestellt. Die Experimente erfordern im wesentlichen die Verarbeitung von Borsilikatglas (Normalglas) und Quarzglas (Bilder 26 und 27).

Die chemische Reinheit von Quarzglas ist außergewöhnlich hoch. Bei synthetischem Quarzglas rechnet man mit einer Gesamtverunreinigung an metallischen Elementen von maximal 1 ppm, bei den aus Bergkristall erschmolzenen Quarzglassorten im allgemeinen mit etwa 8 ppm.

Aufgrund seiner Reinheit ist Quarzglas sehr anfällig gegen Verunreinigungen, insbesondere durch Diffusion mit Normalglas. Die Verarbeitung von Quarzglas muß daher in separaten Räumen erfolgen.

Glas-Metall-Verbindungen

Aufgrund der Sprödigkeit von Glas kann eine plastische Verformung nur nach Erwärmen erreicht werden. Der Erweichungspunkt von Borsilikatglas liegt bei etwa 820°C; die übliche Verformungstemperatur beträgt etwa 1200°C. Die entsprechenden Temperaturen für Quarzglas sind 1730°C und etwa 2000°C. Die Umformung geschieht durch Auftreiben, Verengen, Biegen und Wendeln von Rohren und Stäben sowie durch Blasen von Hohlkörpern.

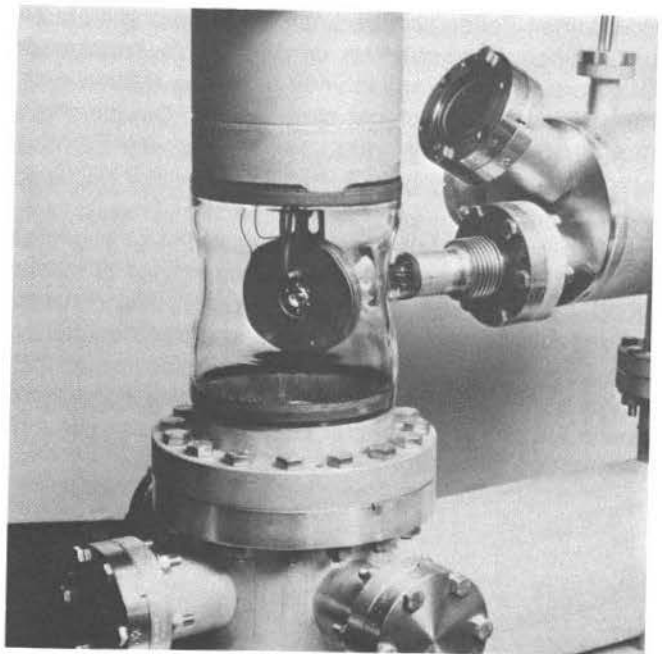


Bild 28

UHV-Aufdampfapparatur (IFF-5); zur Messung von Laserlichtstreuung an aufgedampften Metallfilmen im Ultrahochvakuum; zwei Glas-Metall-Verbindungen nach dem Prinzip des Schachtelhalms, 100 bzw. 20 mmØ (rechts)

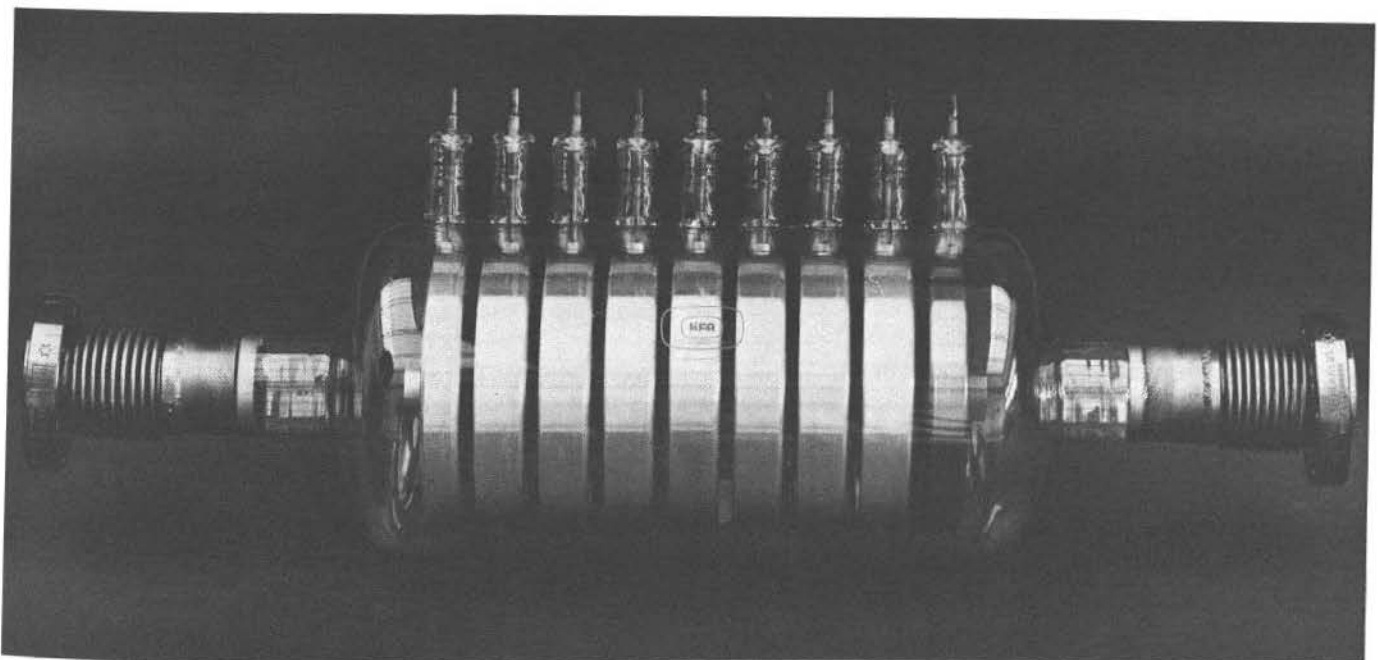


Bild 29

Elektrostatistischer Linearbeschleuniger (IFF-12); polarisierte Elektronen werden in einer Meßkammer erzeugt und an magnetischen Proben gestreut. Der Primärstrahl wird im abgebildeten Beschleuniger auf 100 kV beschleunigt; dazu wird zwischen den einzelnen Beschleunigungselektroden aus Aluminium jeweils eine Spannung von 10 kV angelegt. Die Stromzuführung erfolgt mittels vakuumdichter Glas-Metall-Verbindungen.

Der elektrostatistische Linearbeschleuniger ist UHV-Be-

dingungen angepaßt und bis 350°C ausheizbar. Aus elektronenoptischen Gründen wurden besondere Ansprüche an die Einbaugenauigkeit der Beschleunigungselektroden gestellt; die einzelnen Aluminiumsegmente sind an der elektrischen Durchführung aufgehängt und mit einer Toleranz von $\pm 0,1$ mm ausgerichtet. An beiden Enden des Beschleunigers sind UHV-Anschlüsse aus Flanschen und Metallbälgen mit Glas-Metall-Übergängen verschweißt und mit dem Glaszylinder verbunden, um ihn zwischen zwei UHV-Behältern der Versuchsanordnung zu montieren.

Bei kleinen Teilen erfolgt diese Formgebung manuell; bei großen Werkstücken wird der zu verformende Glaskörper in eine maschinell drehbare Haltevorrichtung (Glasdrehmaschine) eingespannt. Die gleichmäßige Drehung des Werkstückes sichert die Formbeständigkeit im weichen Zustand.

Die mechanische Glasbearbeitung ist mit besonderen Diamantwerkzeugen möglich und erfolgt überwiegend durch Trennen, Drehen, Fräsen, Bohren und Schleifen. Sie wird in Verbindung mit der Herstellung von Glasgeräten und -apparaturen erforderlich, z.B. Bohren von Löchern in Flachglas und Glashohlkörper sowie Fräsen von Nuten in Glasgrundkörper zur Aufnahme von Heizspiralen.

Die Nutzung der optischen, mechanischen oder thermischen Eigenschaften des Glases in Versuchseinrichtungen erfordert häufig ein Verbindungselement (Glas-Metall-Verbindung) zwischen gläsernen und metallenen Geräteteilen (Bilder 28 und 29). Der Metallteil einer solchen Verbindung besteht aus einer Speziallegierung mit einem mittleren Wärmeausdehnungskoeffizienten von $47 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ zwischen 20°C und 400°C . Er kann mit allen übrigen metallischen Werkstoffen verschweißt oder gelötet werden.

Über einen Glas-„Schachtelhalm“ ist dieser Metallteil mit Normalglas verbunden, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient $33 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ bis 300°C beträgt. Der „Schachtelhalm“ wird aus zwei bis drei kurzen, miteinander verschmolzenen Glasrohren mit jeweils unterschiedlichem Ausdehnungskoeffizienten hergestellt. Er dient dazu, den Ausdehnungskoeffizienten des Glases dem der Metallegierung Stück um Stück anzupassen. Derartige Verbindungen sind auch für Quarzglas herstellbar. Glasseitig, d.h. am Normalglas werden dazu als weiterer „Schachtelhalm“ drei unterschiedliche Übergangsgläser angesetzt und mit dem Quarzglas verbunden. Die Beständigkeit solcher Glas-Metall-Verbindungen ist auch gegen extreme Thermoschocks außerordentlich gut, sie können standardmäßig von 5 bis 65 mm \varnothing , in Sonderfertigung bis etwa 100 mm \varnothing hergestellt werden.

Bild 30

Photoelektronenspektrometer (IGV); der UHV-Rezipient und das Gehäuse des Spektrometers sind typische Bauteile, die eine sorgfältige Oberflächenbehandlung nach den aufgeführten Verfahren und Rezepturen erfordern.

(Gerätebeschreibung siehe Seite 15)

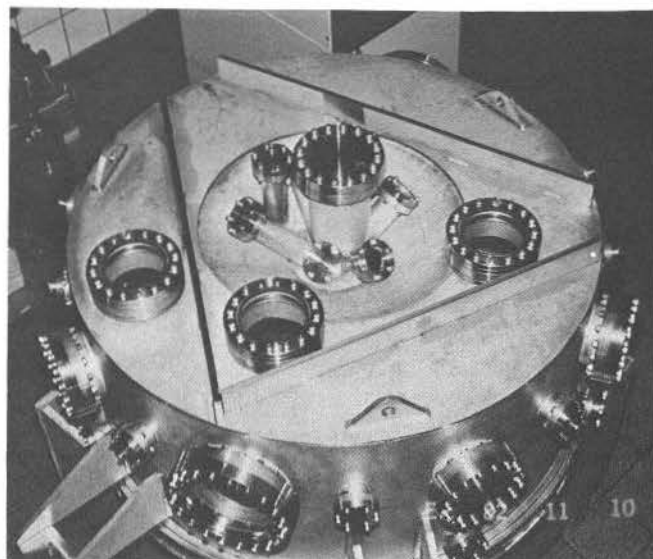
Beiztechnik

- Chemische und galvanische Oberflächenbehandlung von Einzelteilen und Baugruppen für Forschungsgeräte und -apparaturen sowie für Versorgungs- und Betriebseinrichtungen
- Vorreinigen, Entfetten, Ultraschallreinigen, Entlackieren, Entmetallisieren
- Beizen, Ätzen, Aktivieren, Passivieren, Neutralisieren, Leitfähigkeitsspülen
- Brünieren, Phosphatieren, Färben, Eloxieren, Glänzen
- Chemisches Vernickeln, Verkupfern
- Galvanisches Vernickeln, Verkupfern und Hartverchromen
- Elektrolytisches Polieren
- Prüfung von Edelstählen auf Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion nach DIN 50914

Je nach Verwendungszweck werden an Werkstück-, Geräte- und Apparateoberflächen Anforderungen gestellt, die eine chemische oder galvanische Oberflächenbehandlung notwendig machen.

Vor allem bei Experimentiereinrichtungen, die an oder in Forschungsreaktoren verwendet werden, sowie bei Reaktorkomponenten und -kreisläufen werden Oberflächen chemisch behandelt, um einen ausreichenden Korrosionsschutz zu gewährleisten und um das Einschleppen von Verunreinigungen mit nachfolgender Kontamination weitestgehend zu reduzieren. Die chemische Veränderung der Oberflächenstruktur ist z.B. auch erforderlich, um Dekontaminationsarbeiten zu erleichtern.

Bei Vakuum-, Ultrahochvakuum- und Tieftemperaturgeräten und -apparaturen ist eine derartige Oberflä-



chenbehandlung stets erforderlich (Bild 30). Abgesehen von der unverzichtbaren Reinigung und Entfettung ist durch chemische Oberflächenbehandlung eine Verringerung der Rauigkeit und damit eine Oberflächenverkleinerung erreichbar. Sie reduziert die Ausgaszeiten adsorbierter Gasmoleküle, die Ausheiz- und Abpumpzeiten und macht so niedrigste Drücke im UHV-Bereich zugänglich. Bei Tieftemperatureinrichtungen wird dadurch das Ausfrieren von Verunreinigungen und Gasen an den Kaltflächen weitgehend vermieden.

Zu den chemischen Verfahren zählt das Beizen, das als Vorbehandlung der Werkstücke Reinigen und Entfetten, als Nachbehandlung Passivieren, Spülen und Trocknen erfordert. Die Arbeiten können stationär in der Beizerei und mit den entsprechenden Beizvorrichtungen vor Ort, also mobil ausgeführt werden.

Die Oberfläche des unbehandelten Grundstoffes besteht aus unterschiedlichen Schichten (Bild 31). Durch geeignete Vorbehandlung werden Fettschichten und z.T. auch Oxide entfernt, wodurch bereits ein guter Haftgrund für Beschichtungen entsteht. Es sind matte und glänzende Oberflächenstrukturen erreichbar. Beim Beizen mit verdünnten Säuren erfolgt die Entfernung weiterer Deckschichten – bei Edelstählen vor allem der Oxide – und eine weitergehende Strukturveränderung der Oberfläche, die aus Aufräumen oder Glätten bestehen kann. Die anschließende Behandlung von Edelstahl- und Aluminiumoberflächen mit Salpetersäure und von Stahl mit Natriumnitrat

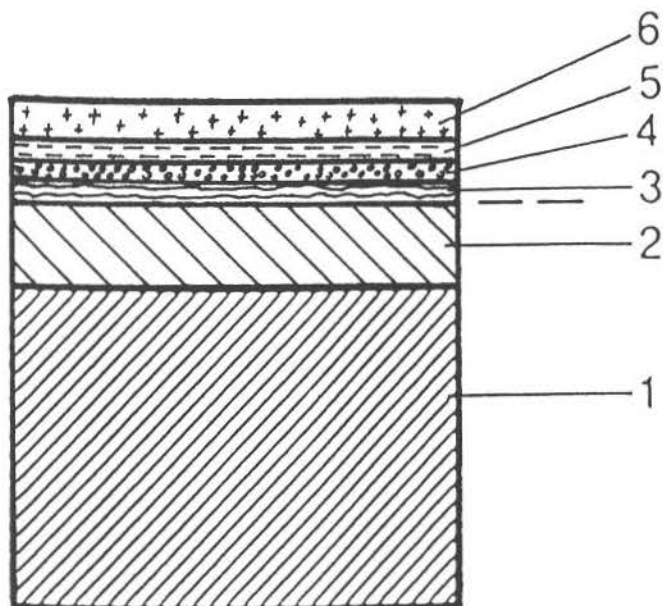


Bild 31
Oberflächenschichten auf einem unbehandelten Grundwerkstoff

- | | |
|---|--|
| 1 Grundwerkstoff | 4 Schicht adsorbierter Gase |
| 2 Verformungszone im Metall
(z.B. verfestigte Walzschicht) | 5 Adsorbiertes Wasser |
| 3 Oxidschicht, Zunder, Rost | 6 Schicht polarisierter
Moleküle (z.B. Fette) |

macht die Oberflächen widerstandsfähiger, d.h. wirkt passivierend und erhöht die Haftfestigkeit weiterer Beschichtungen.

Beim Ultraschallreinigen wird die Badflüssigkeit in Schwingungen versetzt, wobei durch Saugwirkung an den Oberflächen ein Reinigungs- und Abtrageffekt entsteht. Leitfähigkeitsspülen mit entsalztem Wasser reinigt das Werkstück; Messen der Leitfähigkeit des vom Werkstück ablaufenden Wassers dient der Kontrolle der Restverunreinigung am Werkstück. Für geometrisch komplexe Werkstücke (Bild 32) kann so die Korrosionsgefährdung erheblich verringert werden.

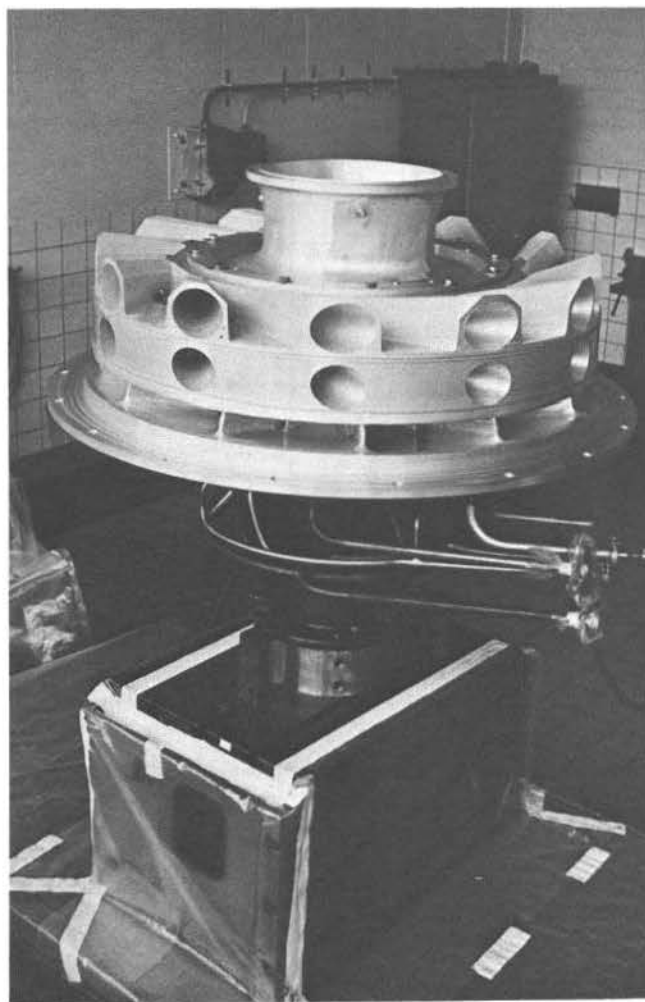


Bild 32
UF₆-Gasverdichter (GHH, KfK)

Der UF₆-Gasverdichter wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) entwickelt und von der Gutehoffnungshütte AG (GHH), Sterkrade, gebaut.

Der Verdichter ist eine Komponente des Trenndüsenverfahrens zur Urananreicherung. Aufgrund des Einsatzbereiches des Verdichters war eine besonders anspruchsvolle chemische Oberflächenbehandlung erforderlich, die als Fremdauftrag übernommen wurde. Nach der Qualitätskontrolle erfolgten Reinraummontage und Dichtigkeitsprüfung in TD-MW.

Oberflächenbehandlungsvorschrift für Teile aus AlCu-Legierungen

Vorgang	Mittel (Gew.%)	Temperatur	Dauer	Bemerkung
Anlieferungszustand: Frei von Metallspritzern, Walzhuten, Zunder und andere mech. entfernbare Fremdstoffe				
1 Vorreinigung	Org. Reinigungsmittel a) Aceton b) Frigen 113 TH	RT	nach Verschmutzungsgrad	Mittel a) f. Farbrest Mittel b) f. organische Substanzen
2 Vorentfetten	alk. Reinigungsmittel WDC-Neutral 435-2% Lsg. (pH: 8-9)	50 - 60°	Sorübenfettung, Handentfettung je nach Verschmutzung (ca. 5 Min.)	m. Dampfstrahlen, Ultraschall kann nachentfettet werden
3 Spülen	Leitungswasser pH 7 und Deionat nachspülen	RT	ca. 5 Min.	Tauchverfahren und Deionatstrahl
4 Schützen der Dichtflächen	Entfetten mit Äthanol Schützen mit Abziehlack			ca. 70 µm Schichtdicke
5 Beizen	20 % HNO ₃ mind. 2 % HF Rest: Deionat	RT	5 Min.	Tauchverfahren oder Tauchbad- Dreh-Verfahren
6 Spülen	Deionat	RT	ca. 5 Min.	Deionatstrahl
7 Passivieren	25 - 30% HNO ₃ Rest: Deionat	RT	10 Min.	Tauchverfahren
8 Spülen	Deionat	RT	ca. 3 Min.	Deionatstrahl
9 Abziehlack entfernen	Manuell	RT		Dichtflächenreinigung mit Äthanol
10 Spülen	Deionat	RT + 15°C max. 50°C	bis Bauteil Wassertemp. hat mind. 5 Min.	Tauchverfahren und Deionatstrahl
11 Spülen zur Leitwertmessung	Deionat	RT + 15°C max. 50°C	Dauer ergibt sich aus Leitfähigkeitswert	Leitfähigkeit $\frac{\mu S}{cm}$ Über Beladung
12 Trocknen	Äthanol kann benutzt werden	max. 50°C	mit staubfreiem Stickstoff wird abgeblasen und mit staubfreier Warmluft ca. 50°C getrocknet	Abblowen
13 Einschweißen	FE-Polier	RT	Unmittelbar nach der Trocknung	Trockenmittel (Kieselgel) beipacken
Bearbeitet: MTK 1/ Aschenbruck		Geprüft: MTK 1/ Chaudron		Freigegeben: MVP3 Krey

Bild 33

Beizvorschrift für die chemische Oberflächenbehandlung des UF₆-Gasverdichters; die Tabelle zeigt auszugsweise die einzelnen Behandlungsschritte, deren anforderungsgerechte Durchführung mit Werksbescheinigung nach DIN 50049/3.1B dem Auftraggeber zu bestätigen war.

Beizverfahren

Den spezifischen Anforderungen entsprechend haben sich einige Reinigungs- und Beizverfahren bewährt, die teilweise auch in Verbindung mit Ultraschall angewendet werden und auf unterschiedliche Oberflächenschichten des unbehandelten Grundwerkstoffes (Bild 31) einwirken

- Entfetten in stark fettlösenden Lösungsmitteln (Alkohole, Chlorkohlenwasserstoffe und Trifluortrichloräthan), die zur Beseitigung der Schichten 4, 5 und 6 geeignet sind
- Dampfentfettung mit stabilisiertem P 3 (wässrige, alkalische Lösung), geeignet zur Beseitigung der Schichten 4, 5 und 6
- Alkalische Reinigung mit Mischungen aus Silikaten, Phosphaten, Karbonaten, Detergentien, Seifen, benetzenden Mitteln und Hydroxiden, geeignet zur Beseitigung der Schichten 4, 5 und 6
- Elektrolytische Reinigung, anodisch oder kathodisch, geeignet zur Beseitigung der Schichten 3, 4 und 5
- Säure-Beizbehandlung mit Säuren oder Säuregemischen, geeignet zur Beseitigung der Schichten 3, 4, 5 und teilweise 2

- Laugen-Beizbehandlung, geeignet zur Beseitigung der Schichten 3, 4, 5 und teilweise 2
- Zirkulationsentfettung mit P 3, Grisiron und Lösungsmitteln bei Kreisläufen, Behältern und Rohrleitungen
- Abkochentfettung mit P 3, NaOH und Netzmitteln

Das Beizen und Passivieren erfolgt im Tauch-, Sprüh-, Hand- und Zirkulationsverfahren nach folgenden Rezepturen:

Beizen von Edelstahl

25 % HNO ₃	bis 30° C
2 % HF	ca. 30-720 min

Passivieren von Edelstahl

10-20 % HNO ₃	Raumtemperatur ca. 10-480 min
--------------------------	----------------------------------

Beizen von Aluminium

20 % HNO ₃	bis 30° C
1,5 % HF	ca. 0,5-10 min

Passivieren von Aluminium

10-20 % HNO ₃	Raumtemperatur ca. 10-180 min
--------------------------	----------------------------------

Beizen von Stahl

5-10 % HCl	bis 40° C
0,2-0,3 % Inhibitor	ca. 10-1000 min

Passivieren von Stahl

0,7 % NaNO_2	bis 40° C
pH 8-9, eingestellt mit NaO	ca. 30-300 min

Beizen von Kupfer und Kupfer-Legierungen

Vorbeizen

7-10 % H_2SO_4	bis 60° C
0,25 % Inhibitor	ca. 5-300 min

Nachbeizen (Blankbeizen)

13,3 % $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Raumtemperatur
6,7 % H_2SO_4	ca. 0,1 - 2,0 min

Passivieren von Kupfer und Kupfer-Legierungen

1 % $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Raumtemperatur
0,1 % Netzmittel	ca. 1-3 min

Weitere häufig angewandte chemische Oberflächenbehandlungsverfahren sind Brünieren, Phosphatieren, chemisches Oxidieren und Färben von Aluminium und seinen Legierungen, Hartverchromen, Entmetallisieren, z.B. Entchromen und Entnickeln, Entmaillieren und Entloxieren sowie Dekapieren von Stahl mit verdünnter Schwefelsäure, chemisches Vernickeln, Verkupfern und Glänzen.

Nach den vorgenannten Verfahren sind praktisch alle gängigen Werkstoffe behandelbar. An Edelstählen, die ohne entsprechenden Werkstoffnachweis nach DIN 50049 geliefert werden, können Untersuchungen nach DIN 50914 auf Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion durchgeführt werden.

Die meist an fertig bearbeiteten, d.h. bereits teuren Werkstücken durchzuführenden Arbeiten erfordern eine sorgfältige Prüfung und Qualitätssicherung. Hierzu rechnen Schichtdicken-, pH-Wert- und Leitfähigkeitsmessungen ebenso wie sorgfältige Badüberwachung, Laborversuche und die Dokumentation der Arbeitsergebnisse in Beiz- und Prüfberichten (Bild 33).

Neutronenspektrometer am FRJ-2, DIDO (IFF-5 und -8)

Die Streuung subthermischer Neutronen mit Energien zwischen 0,1 und 0,001 eV hat sich als eine hervorragende Methode zur Untersuchung von Eigenschaften kondensierter Materie erwiesen. Diese Neutronen treten in Neutronenspektrometern mit den Kernkräften und, vermittelt ihres magnetischen Moments, mit den magnetischen Momenten der Atome der zu untersuchenden Materialproben in Wechselwirkung [34]. Sie werden in Materie an den Atomkernen und, sofern das Atom ein magnetisches Moment hat, an denjenigen Hüllenelektronen gestreut, die zu diesem Moment beitragen (Bild 34).

Neutronenspektrometer stellen in ihrer vielgestaltigen, hochgenauen Mechanik (mit einer Vielzahl elek-

tronischer Weg- und Winkelmeßsysteme) und mit den für ihren experimentellen Betrieb erforderlichen komplexen technischen Einrichtungen (Bilder 36 und 50) hohe Anforderungen an die Konstruktions-, Fertigungs- und Prüftechnik. Für einen Teil der Experimente werden z.B. sehr langsame Neutronen als Informationsträger benötigt, die mit der Kalten Neutronenquelle erzeugt und über ein Neutronenleitersystem auch außerhalb der Reaktorhalle nutzbar gemacht werden.

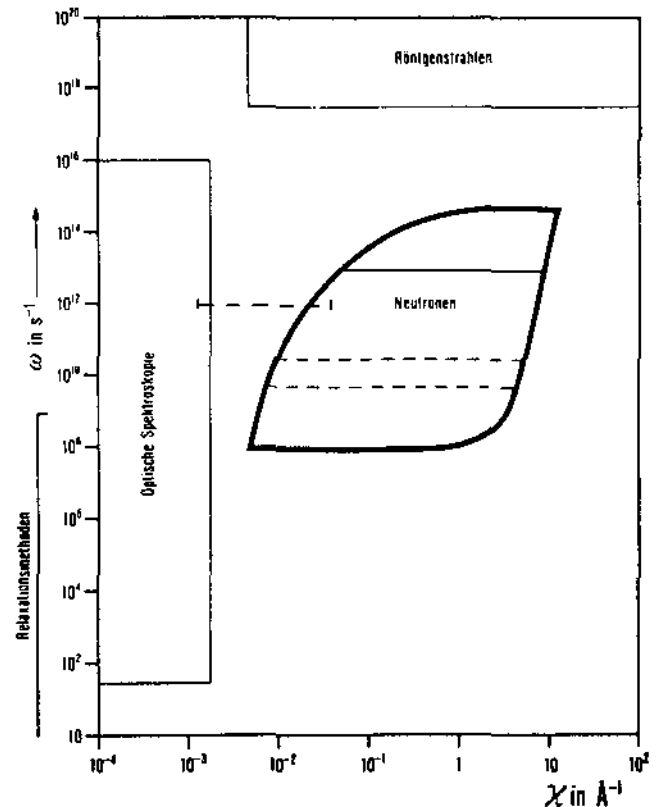


Bild 34

Mit verschiedenen spektroskopischen Methoden zugängliche χ - ω -Bereiche. Im Neutronenbereich liefert unterhalb der ausgezogenen horizontalen Linie eine Kalte Neutronenquelle Intensitätsgewinn. Spektrometer üblicher Bauart messen im Bereich oberhalb der oberen gestrichelten Linie. Der Bereich unterhalb der unteren gestrichelten Linie ist mit dem Rückstreuungsspektrometer zugänglich. Der strichpunktierte Balken gibt den Bereich von Neutronen-Kleinwinkel-Streuung an [33].

Die Kalte Neutronenquelle am DIDO (IFF/TD-EV)

Der Anteil subthermischer Neutronen ist am Neutronenspektrum des FRJ-2 (DIDO) zu gering. Schnellere, also thermische und epithermische Neutronen müssen daher mittels einer Moderatorsubstanz mit niedriger Eigentemperatur moderiert, d.h. abgebremst werden.

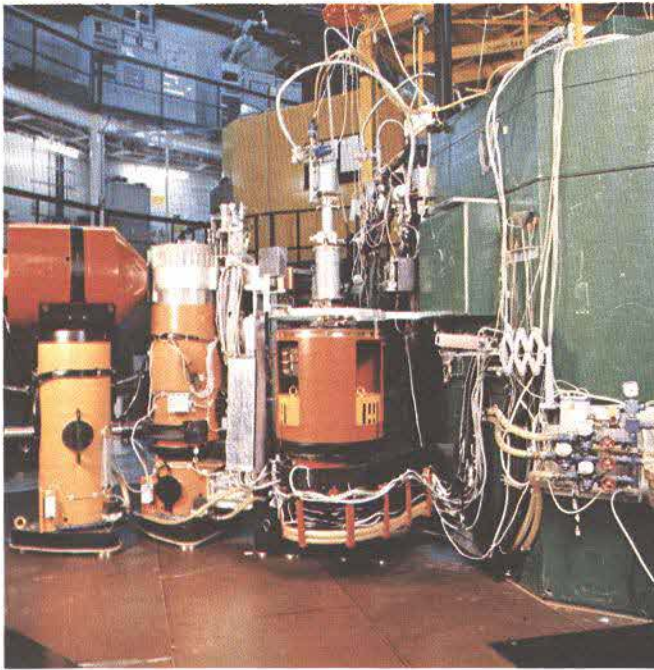


Bild 35

Dreiaxsenpektrometer SV 4 (IFF) mit Detektorachse (links), Analysatorachse und Probenachse (rechts) auf Luftkissenfüßen. Hinter der Abschirmung rechts befindet sich ein Doppelmonochromator.

In der Jülicher Kalten Neutronenquelle (Bild 36) wird Flüssigwasserstoff als Moderator in einem Temperaturbereich von 15 bis 20 K verwendet. Der Strahlrohrschieber enthält dazu in der Nähe des Cores den über Helium- und Wasserstoffrohrleitungen mit einem Wasserstoffkondensator verbundenen Moderatortopf (blau). Außerhalb der Reaktorhalle steht der Wasserstoff-Vorratsbehälter (blau). Moderatortopf und Kondensator sind als Wärmetauscher ausgebildet und werden mit Kalthelium gekühlt, das von einer Helium-Kälteanlage in der Reaktorhalle geliefert wird. Vakuumisolierte Kaltheliumleitungen (gelb) verbinden die Kälteanlage mit dem Strahlrohrschieber.

Die im Moderatortopf abgebremsten Reaktorneutronen werden durch ein dreiteiliges, jeweils mehr als 50 m langes Neutronenleitersystem (rot) zu den Experimentiereinrichtungen geleitet. Diese befinden sich, wie das Flugzeitspektrometer SV 5c (Bilder 36, 42 und 43), teils in der Reaktorhalle, teils in dem Externen Neutronenleiterlabor ELLA außerhalb der Reaktorhalle (Bilder 50 und 54 bis 60).

Innerhalb der Reaktorhalle ist der Neutronenleiter von einer Schwerbetonabschirmung umgeben. Auf der oberen Plattform der Abschirmung stehen die Steuer- und Schaltschränke für den Betrieb der Kalten Neutronenquelle.

Moderatortopf und Kondensator stellen zusammen mit den sie verbindenden Leitungen für flüssigen und dampfförmigen Wasserstoff ein Thermosiphonsystem dar, in dem Flüssig-Wasserstoff umläuft (Bilder 37

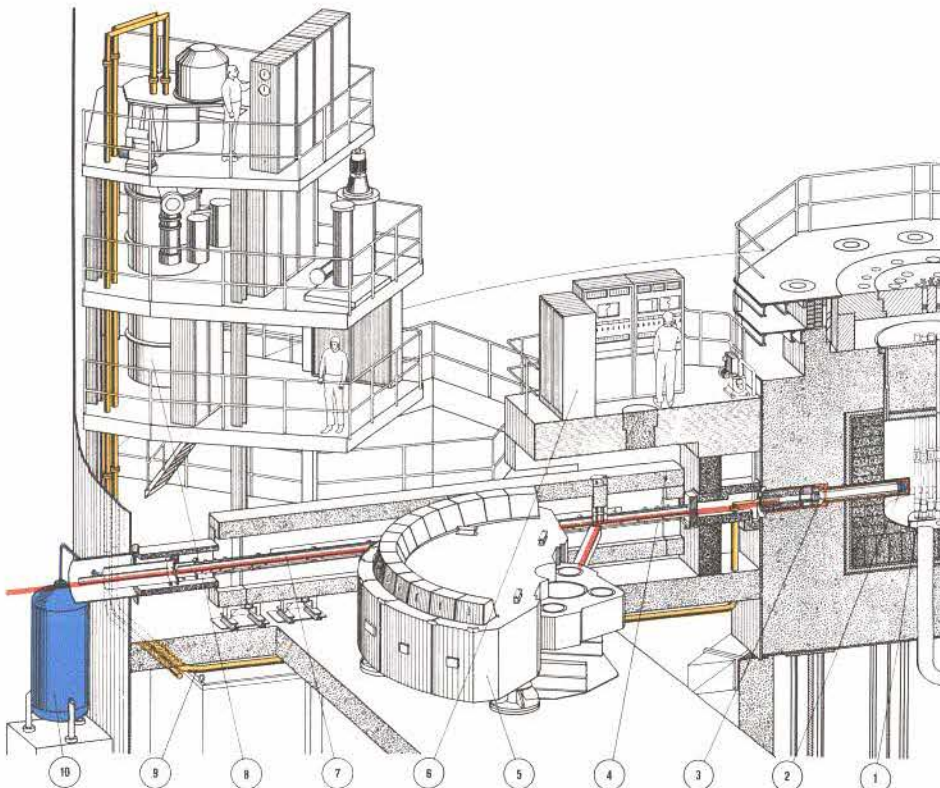


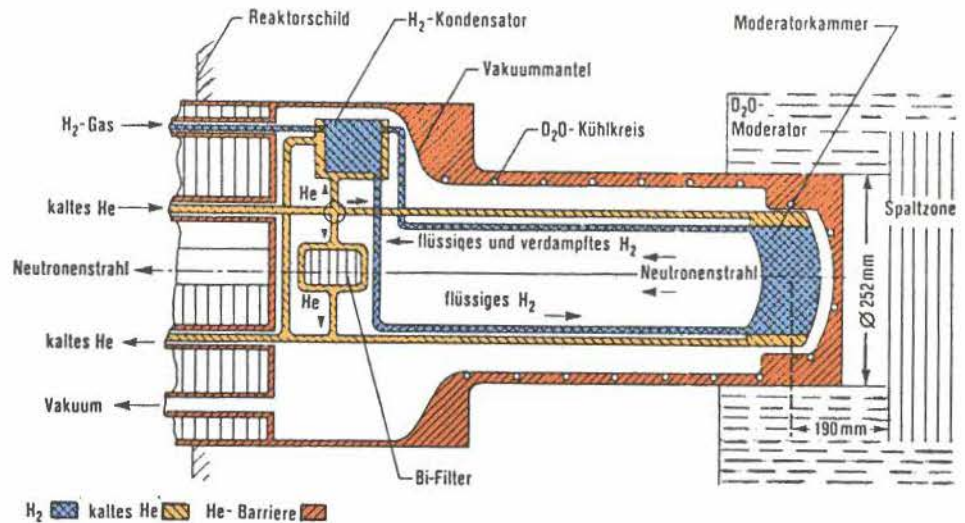
Bild 36

Kalte Neutronenquelle und ihre Betriebseinrichtungen am FRJ-2 (DIDO)

- 1 Reaktorcore
- 2 Moderatortopf (blau)
- 3 H₂-Kondensator
- 4 Schwerbeton
- 5 Flugzeitspektrometer SV 5c
- 6 Steuer- und Schaltschränke
- 7 Neutronenleitersystem (rot)
- 8 Helium-Kälteanlage
- 9 Kaltheliumleitungen (gelb)
- 10 H₂-Vorratsbehälter und -versorgung (blau)

Bild 37

Vorderteil der Strahlrohrreinbauten der Kalten Neutronenquelle mit Helium-Schutzgas-Barriere



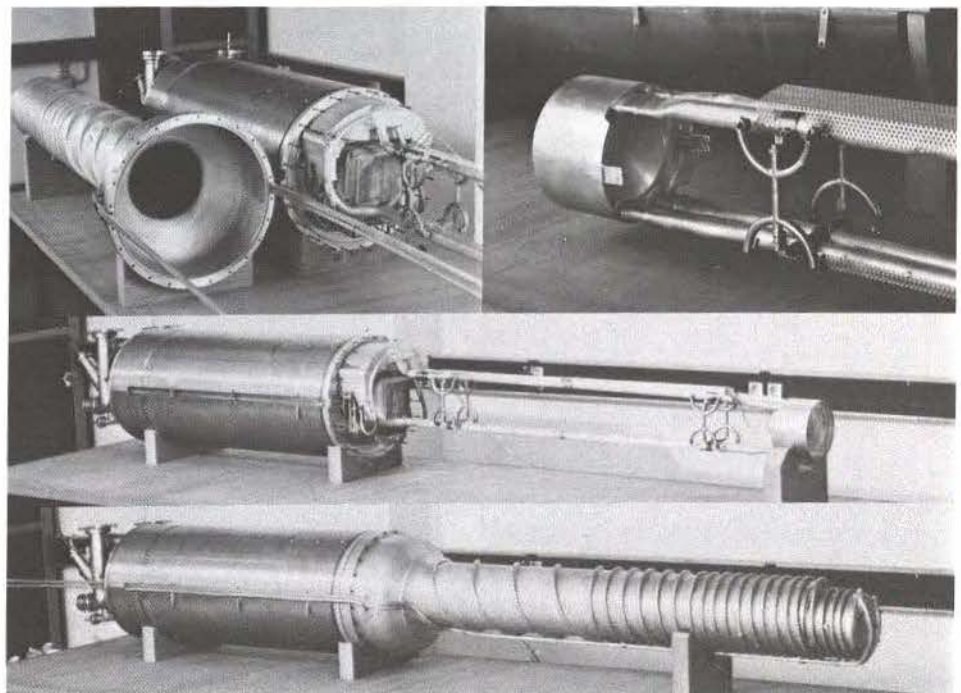
und 38). Der gekühlte Wismut-Einkristall wirkt abschirmend als Filter für schnelle Neutronen und Gammastrahlung. Der gesamte Strahlrohrrein Schub ist von einer Helium-Barriere (orange) umgeben, um das Eindringen von atmosphärischem Sauerstoff und die damit verbundene Gefahr der Knallgasbildung zu verhindern [35, 36, 37, 38, 39, 40, 41].

nen- und Gammastrahlung. Die in den Bildern 35, 39, 40 und 41 gezeigten Neutronenspektrometer sind in der DIDO-Reaktorhalle aufgebaut.

Einfachere Strahlrohrrein Schübe wurden inzwischen in sehr unterschiedlichen Ausführungen gebaut. Sie ersetzen die Blindstopfen in den Horizontalkanälen der Reaktorabschirmung und ermöglichen ebenfalls die horizontale Extraktion von Reaktorneutronen für experimentelle Arbeiten an festen und flüssigen Materialproben in Neutronenspektrometern. Außer den auf die experimentelle Anwendung abgestimmten Versorgungs- und Betriebseinbauten enthalten sie stets Blei- und Schwerbetonabschirmungen gegen Neutro-

Bild 38

Strahlrohrrein Schub der Kalten Neutronenquelle. Oben links: Vakuummantelrohr und Abschirmstopfen mit Wismutfilter unterhalb des Wasserstoffkondensators; oben rechts: Moderator topf, Thermosiphon- und Kaltheliumzuleitungen mit Abstützung; Mitte: Abschirmstopfen und Thermosiphonsystem mit Moderator topf und Kondensator; unten: Strahlrohrrein Schub im Einbauzustand, das Vakuummantelrohr ist von D2O-Kühlleitungen umgeben.



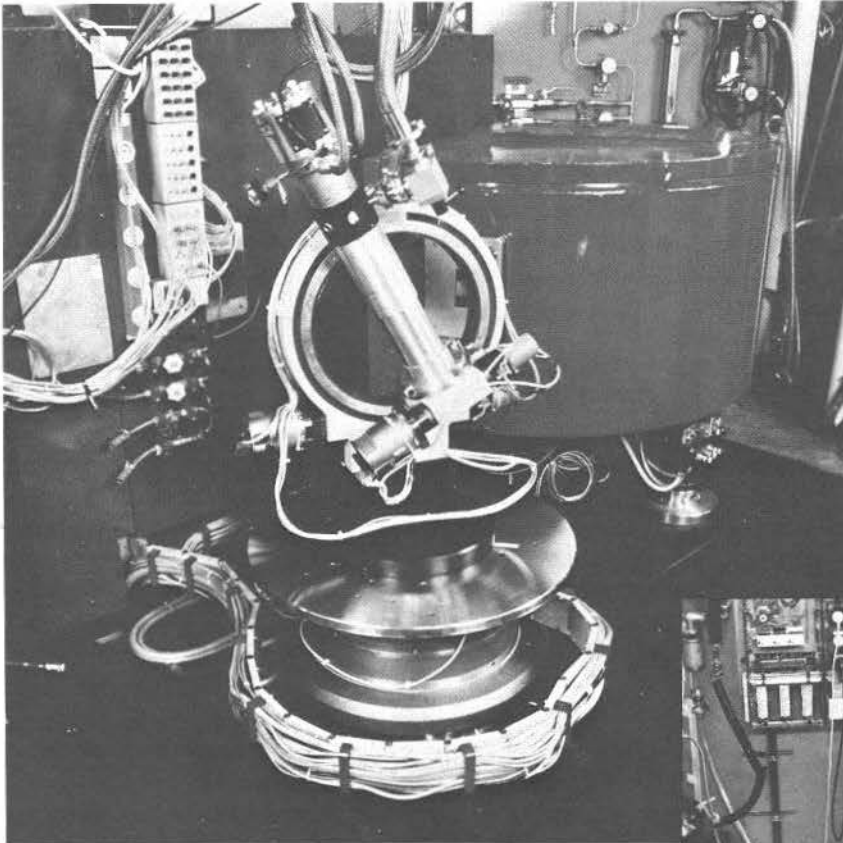


Bild 39
UNIDAS –
Universitäten-Dreiachsenspektrometer
(IFF, RWTH)

Bild 40
Doppeldiffraktometer SV 7 (IFF, MIN, ZAT)

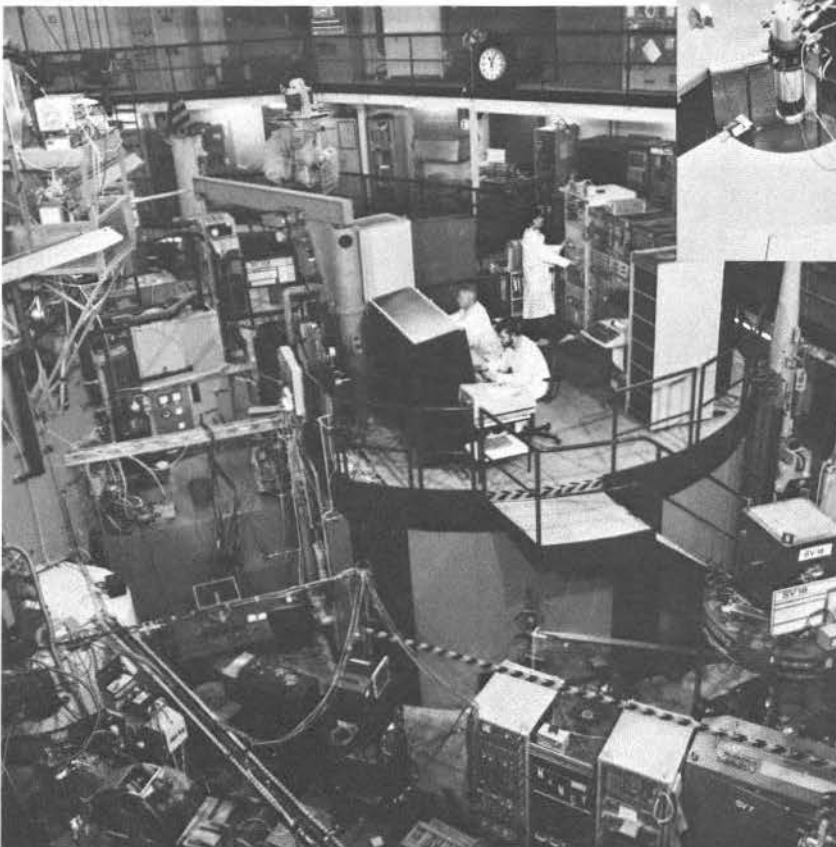
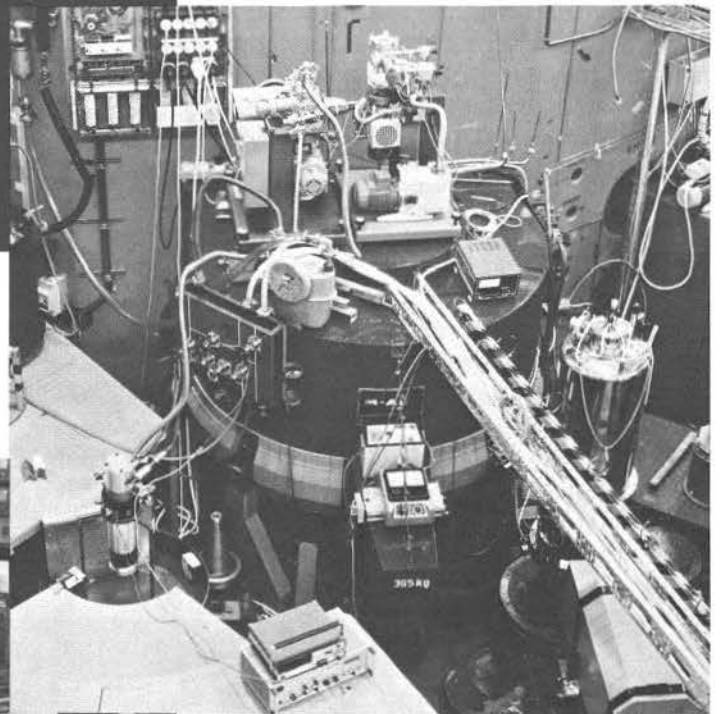


Bild 41
Flugzeitspektrometer SV 22 (IFF, ZAT)

Flugzeitspektrometer SV 5c (IFF-8)

Das an den Neutronenleiter NL I im DIDO (1) angeschlossene Flugzeitspektrometer (Bilder 36, 42 und 43) ist eine Stahlkonstruktion in Form eines Zylindersegmentes mit einem Basiswinkel von 140° , das aus dem Chopperträger (7) und der Flugzeitbahn-Abschirmung (8) besteht. Die Abschirmsegmente (9) und Abschirmdeckel (10) sind herausnehmbar, um einfachen Zugang zu den ^3He -Zählrohrdetektoren (4) zu gewährleisten [42]. Der Chopperträger (7) enthält neben mehreren Neutronenkanälen (11) drei um jeweils 90° versetzte Einbaupositionen (12) für Neutronenchopper (3). Die Abschirmung besteht aus einem Bor-Polyäthylen-Gemisch mit einem Boranteil von 20 Gew.-%.

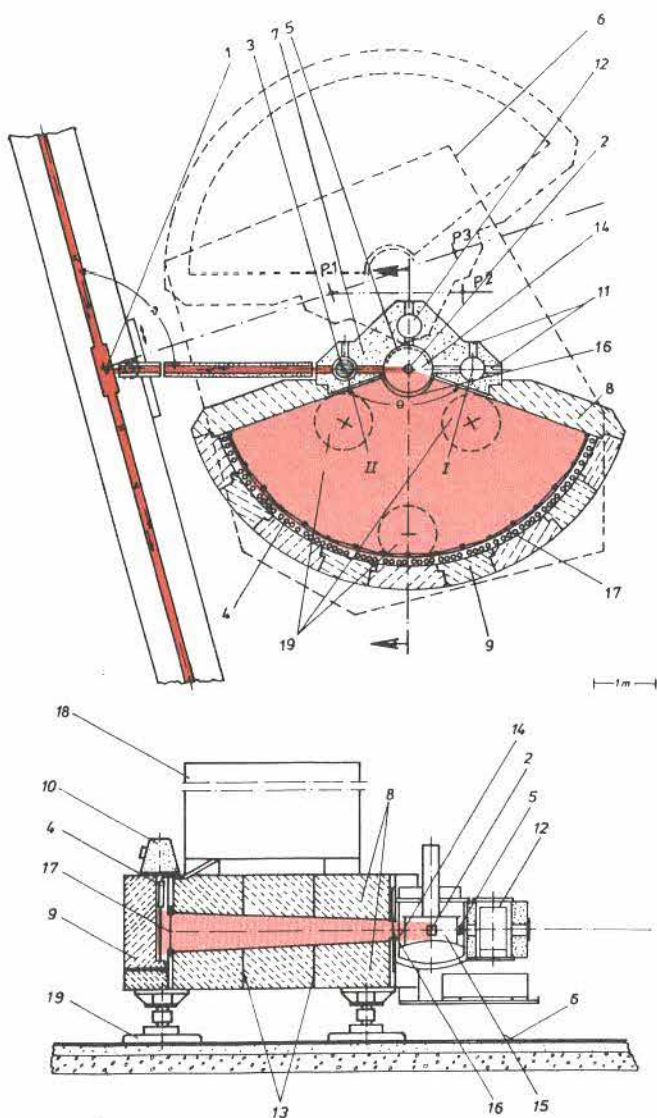


Bild 42
Flugzeitspektrometer SV 5c am FRJ-2 – DIDO (IFF-8); oben: Draufsicht, gestrichelt die Bestrahlungsposition P3; unten: Querschnitt des Flugzeitspektrometers; rot: Neutronenleiter und Flugzeitbahn

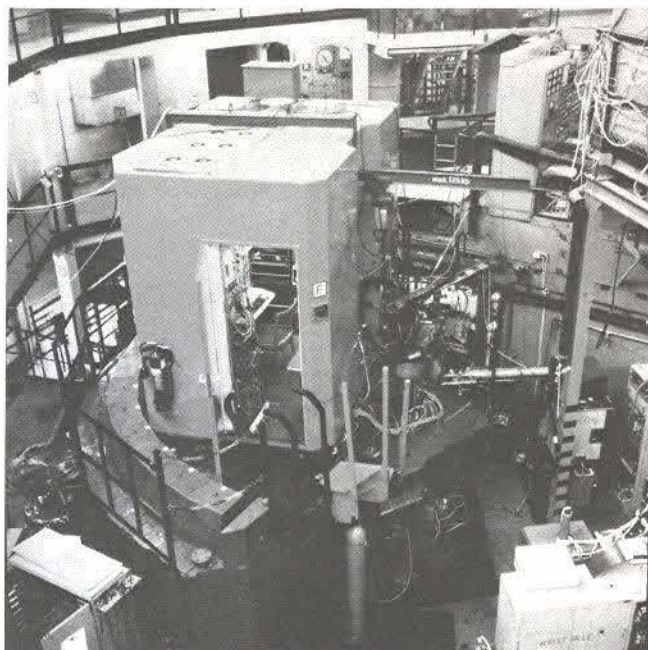


Bild 43
Flugzeitspektrometer SV 5c (IFF-5) mit Elektronikhaus als Faradayscher Käfig

Da die Flugzeitbahn über den Basiswinkel von 140° bei einer Länge von 3 m evakuierbar sein muß, beträgt die Flächenbelastung des oberen und des unteren Segments je etwa 1100 kN. Die notwendigen Versteifungen wurden in Form von Längs- und Querrippen (13) ober- bzw. unterhalb der Flugzeitbahn eingeschweißt. Dadurch konnten „Schatten“ erzeugende Abstützungen innerhalb der Flugzeitbahn vermieden werden. Gleichzeitig entstand Raum für die Unterbringung der oberen und unteren Wasserabschirmung mit etwa 5 Gew.-% gelöstem Natriumtetraborat.

Die innen mit Cadmiumfolie verkleidete Flugzeitbahn ist gegenüber dem Probenraum mit einem kreisförmig gebogenen 0,5 mm dicken und 190 mm hohen Aluminiumfenster (16) abgedichtet. Vor den Detektoren befinden sich 2 mm dicke Aluminiumfenster (17) mit einer lichten Weite von 400 mm x 400 mm.

Chopperträger und Flugzeitbahn bilden im Bereich der Probenposition (2) einen evakuierbaren Zylinder (14) mit einem Durchmesser von 800 mm und einer Höhe von 640 mm, in den ein Probenkryostat (15) eingebaut wird.

In dem auf der oberen Plattform aufgestellten, als Faradayscher Käfig wirkenden Elektronikhaus (18) ist die gesamte Meßelektronik und Datenspeicherung untergebracht (Bild 43). Luftkissenlager (19) ermöglichen es, das Spektrometer auf der Bewegungsfläche (6) in verschiedene Bestrahlungspositionen P 1, P 2, P 3 zu verschieben.

Luftkissenlager

Neutronenspektrometer sind meist sehr schwere Geräte, die entweder zur Positionsänderung gelegentlich oder während des Experimentierbetriebes von Meßposition zu Meßposition ständig auf einer Ebene bewegt werden müssen. Luftkissenlager sind hierfür am besten geeignet. Sie sind in Herstellung und Betrieb einfacher und kostengünstiger als andere Lösungen und ermöglichen je nach Typ Reibbeiwerte bis unter 10^{-4} [42].

Die drei Luftkissenfüße des Flugzeitspektrometers SV 5c (Bilder 44 und 45) bestehen aus einer zylindrischen Grundplatte (1), die an der Unterseite nach außen hin kegelförmig ausgedreht ist und in eine Nut (2) übergeht, welche die Randabdichtung (3) des Luftkissens aufnimmt. Sie wird mit einem Befestigungselement (4) an der Grundplatte gehalten. Die Grundplatte ist über Kugel (5) und Pfanne (6) mit einer Gewindespindel (7) verbunden, die mit einer Stellmutter (8) eine Höhenjustierung ermöglicht. Mit dem Flansch (9) werden die Füße am Spektrometer befestigt. Der mit einem Stahlring (18) beschwerte Filzring (19) verhindert die Verschmutzung der tragenden Flächen.

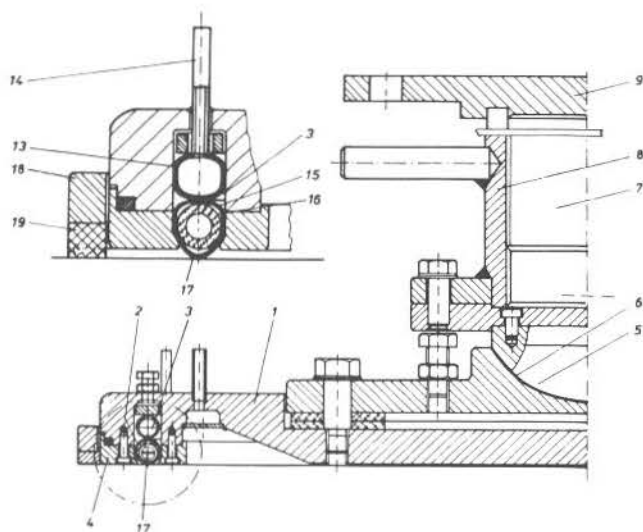


Bild 44
Luftkissenfuß mit Randabdichtung; links oben: Details der elastischen Randabdichtung

Die elastische Randabdichtung besteht aus einem Druckschlauch (13), der mit einer Versorgungsleitung (14) verbunden ist. In der Ringnut (3) befindet sich unter dem Druckschlauch (13) ein dünnwandiger, flexibler Teflonschlauch (15), der mit einem innenliegenden dickwandigeren PVC-Schlauch (16) stabilisiert wird und das Luftkissen durch leichten Bodendruck der Dichtlippe (17) abdichtet.

Die von AP entwickelte Bewegungsfläche ist ein glatt abgezogener, 10 mm dicker Kunststoffestrich auf

Verbundestrich, der mit einer gegossenen Expoxidharzbeschichtung von 2 mm Dicke versiegelt wurde. Hierdurch konnte mit einer Welligkeit der Oberfläche von weniger als $\pm 0,5$ mm und einer Neigung von max. 1 ‰ bei sehr geringer Rauigkeit eine besonders gute Oberflächenqualität erreicht werden.

Die Druckluftversorgung ist in Aufbau und Handhabung einfach. Sie besteht aus einem Hauptabsperrschieber, einem Filter mit Vordruckregler und Druckminderern. Der Arbeitsdruck wird nach der Inbetriebnahme und Erprobung fest eingestellt. Für die erneute Inbetriebnahme muß nur der Hauptabsperrschieber betätigt werden.

Luftkissenlager haben sich für Neutronenspektrometer bewährt. Die horizontale Verschiebekraft für das 36 t schwere Flugzeitspektrometer SV 5c liegt z.B. zwischen 200 und 300 N, es kann damit von zwei Personen bewegt und justiert werden. Das Dreiachsen-spektrometer SV 4 (Bild 35), das UNIDAS (Bild 39) und das Doppelkristalldiffraktometer DKD (Bild 55) erhielten Lager mit Randabdichtung. Für das π -Spektrometer (Bild 54), für das Diffuse Neutronenspektrometer DNS und für die Detektorschwenkkammern (Bild 56) wurden Luftkissenlager ohne Randabdichtung des Luftkissens verwendet.

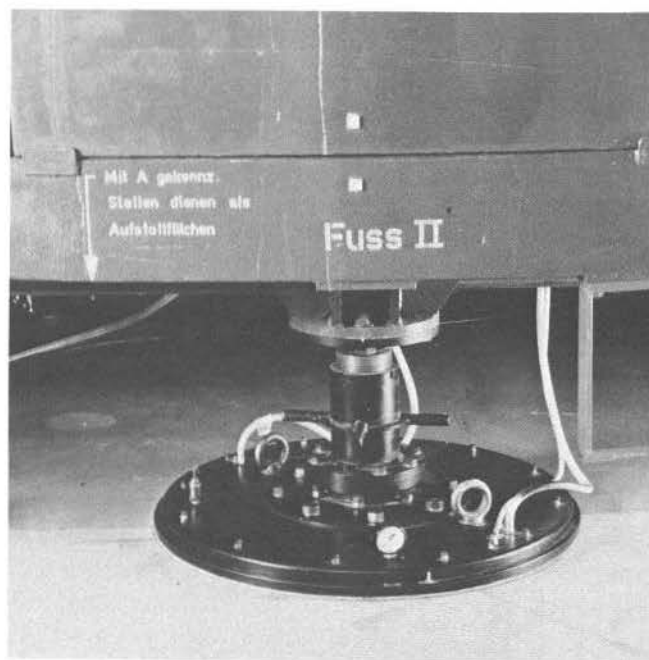


Bild 45
Luftkissenfuß des Flugzeitspektrometers SV 5c; das 36 t schwere Spektrometer läßt sich auf der Bewegungsfläche von nur 1 bis 2 Personen bequem verschieben.

Neutronenleitzersystem zum Externen Neutronenleiterlabor ELLA (IFF, AP)

Die sehr begrenzten Platzverhältnisse in der DIDO-Reaktorhalle machten es notwendig, Neutronen in geeigneter Weise auch außerhalb der Halle verfügbar zu haben. Hierzu wurde ein Neutronenleitzersystem konzipiert, das Experimente in der Reaktorhalle und im neuen, daran anschließenden Externen Neutronenleiterlabor ELLA mit subthermischen Neutronen der Wellenlängen oberhalb 2 \AA zuverlässig versorgt (Bild 50).

Ein Neutronenleiter (NL) besteht aus Glaselementen von maximal 500 mm Länge, die paarweise zu Einheiten von 1 m Länge vorgefertigt werden. Das Glaselement hat einen rechteckigen Innenquerschnitt mit beschichteten Flächen, die Neutronen durch Totalreflexion leiten. Es setzt sich aus vier rechtwinkligen Glasplatten zusammen, die miteinander verklebt werden (Bild 46). Diese Platten aus Borsilikatglas weisen auf der reflektierenden Fläche eine Ebenheit von $\leq 1,5 \times 10^{-4} \text{ rad}$ und eine Rauigkeit von $R_a \leq 0,003 \text{ \mu m}$ auf. Diese Flächen erhalten eine mehr als $0,12 \text{ \mu m}$ dicke Schicht durch Aufdampfen von Nickel-58, was gegenüber dem normalen Nickel aufgrund der besseren Reflektivität einen Intensitätsgewinn vom Faktor 1,4 bedeutet.

Wesentlich für die Transmissionsgüte des Neutronenleiters infolge Totalreflexion ist seine stabile Aufstellung und sorgfältige Justage. Das einzelne Glaselement wird in bügelartigen Justageelementen von Stellschrauben gehalten, die eine dreidimensionale Ausrichtung gestatten (Bilder 47 und 48).

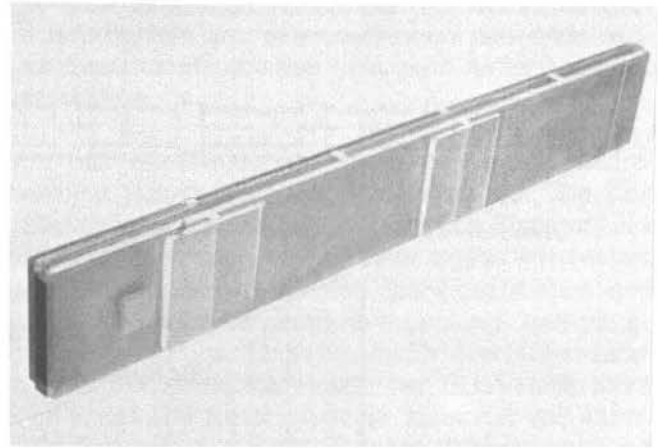


Bild 46

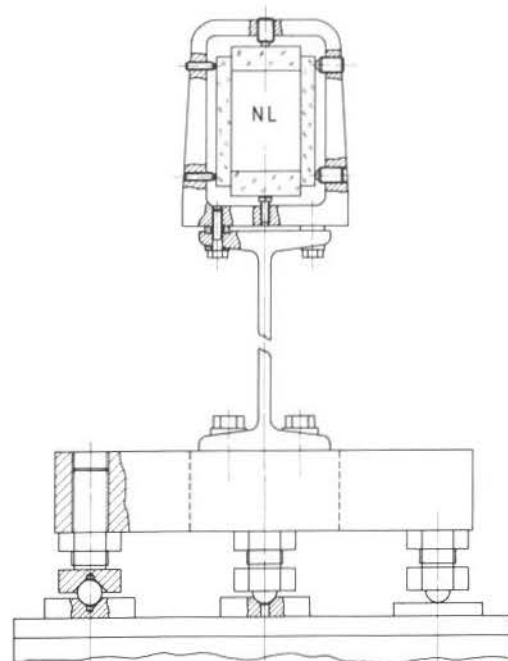
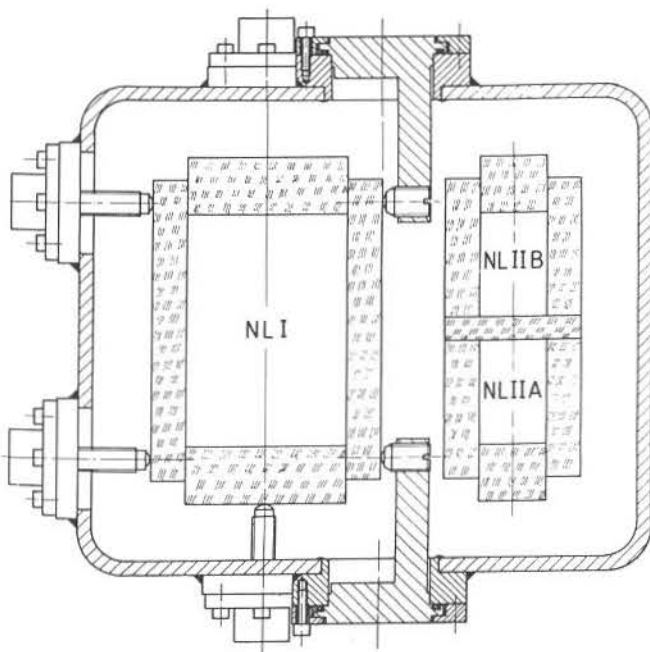
Glaselement als Baustein des Neutronenleiters mit seitlichem Spiegel für die Justage (links im ersten Segment)

Die Justagebügel sind fest auf einen spannungsarmen und verwindungssteifen I-Stahlträger geschraubt, der mittels einer justierbaren Dreipunktlagerung auf zwei am Boden verschraubten Stahlstützen ruht (Bild 49).

Die Justage der Glaselemente zueinander erfolgt von außen entlang der Neutronenleiterstrecke, beginnend am Reaktor. Hierzu dienen die einseitig an jedem Glaselement hochgenau parallel zur Innenfläche angebrachten Spiegel (Bilder 46 und 49). Durch sie wer-

Bilder 47 und 48

Justageelemente für den Neutronenleiter im Stahlgehäuse (links) und freistehend auf I-Stahlträger (rechts)



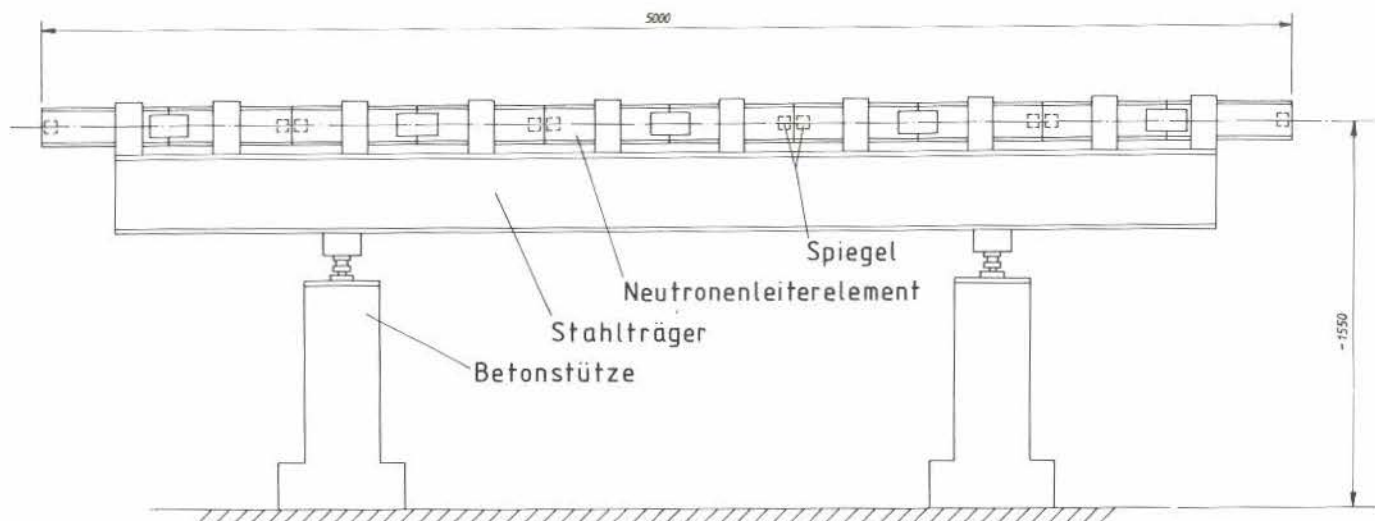


Bild 49
Fertig montierte Neutronenleitereinheit

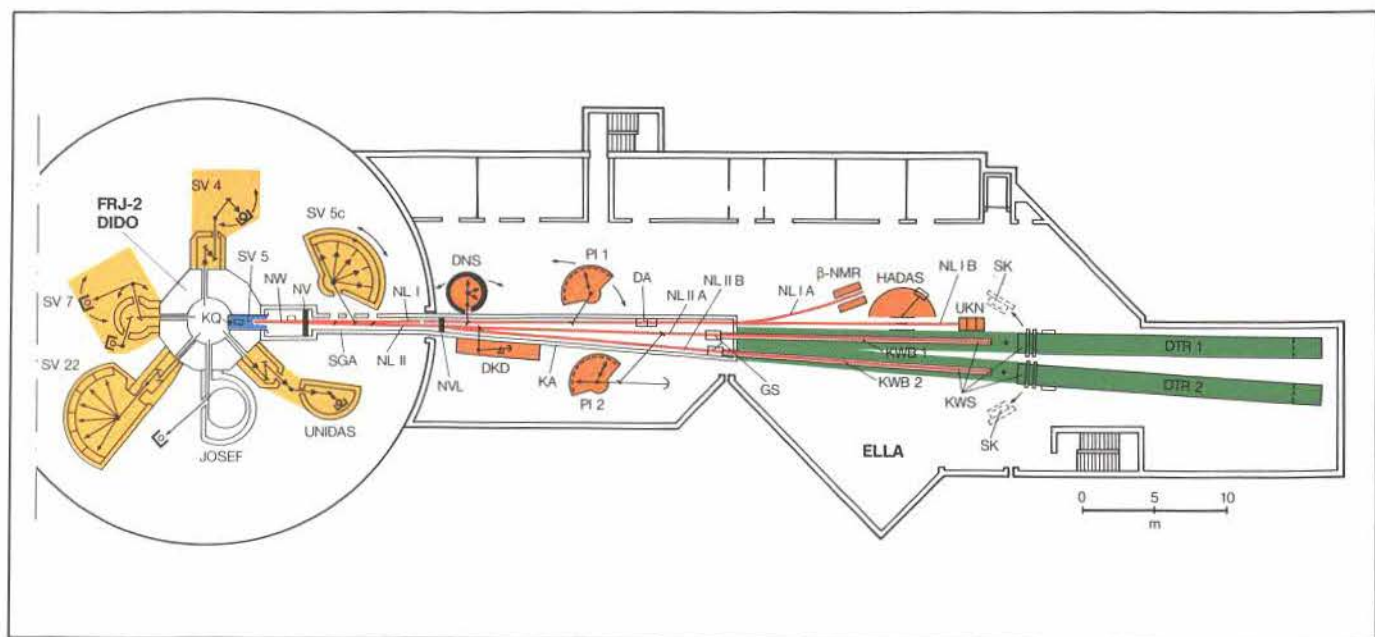


Bild 50
Neutronenspektrometer im DIDO und im ELLA mit Lageplan des Neutronenleitersystems

KQ	Kalte Neutronenquelle (blau)	ELLA	Externes Neutronenleiterlabor
NW	Neutronenleiterweiche	DNS	Diffuse-Neutronen-Spektrometer
SV 5	Strahlrohrein Schub KQ	DKD	Doppelkristall-Diffraktometer
NL	Neutronenleiter (rot)	PI 1,2	Rückstreu-(π)-Spektrometer
NV	Neutronenleiterverschluß	DA	Dopplerntrieb
SV 5c	Flugzeitspektrometer	β -NMR	Kernpolarisation
SV 4	Dreiachsenspektrometer	HADAS	Hochauflösendes Dreiachsenspektrometer
SV 7	Doppeldiffraktometer	UKN	Untersuchungseinrichtung Kalte Neutronen
SV 22	Flugzeitspektrometer	GS	Geschwindigkeitselektor
JOSEF	Massenseparator (IKP)	SK	Schwenkkammer
UNIDAS	Universitäten Dreiachsenspektrometer	KWB 1,2	Kollimatorwechselbehälter
NVL	Neutronenleiterschnellverschluß	KWS	Kleinwinkelstreuapparaturen (grün)
SGA	Stahlgehäuse und Betonabschirmung	DTR 1,2	Detektorrohre
KA	ELLA-Kasematte		

den Meßmarken eines optischen Systems reflektiert, welche die Lage des Glaselementes anzeigen. Durch Betätigen der Justageschrauben erfolgt dann der Abgleich. Außerdem müssen die jeweils aufeinander folgenden Glaselemente nach ihren Innenflächen stoßfrei ausgerichtet werden. Das dient der optimalen Transmission der in den Leiter eingespeisten Neutronen und hält somit die Intensitätsverluste klein. Zugleich reduziert man die an solchen Stoßkanten entstehende, unerwünschte Sekundär-Gammastrahlung.

Das Neutronenleitersystem (Bild 50) beginnt im Strahlrohrein Schub der Kalten Neutronenquelle (KQ), d.h. noch innerhalb der biologischen Abschirmung des Reaktors DIDO im 10 H-Kanal mit dem Glasbauteil Neutronenleiter-Weiche (NW). Der von der Neutronenquelle angebotene Strahlquerschnitt von $100 \times 100 \text{ mm}^2$ teilt sich hier in die beiden horizontalen Neutronenleiter I (NL I) mit den Innenmaßen $70 \times 100 \text{ mm}^2$ und Neutronenleiter II (NL II) mit den Innenmaßen $30 \times 100 \text{ mm}^2$. An die Weiche schließt sich der Strahlverschluß (NV) an mit seitlich verfahrbarem Glasleiter und dabei zugleich an dessen Stelle rückendem Bleiblock zum generellen Sperren des Neutronenleiters. Dahinter teilt sich NL II in halber Höhe in NL II A (unten) und NL II B (oben) mit den jeweils gleichen Innenmaßen $30 \times 45 \text{ mm}^2$.

Es ergeben sich somit drei Neutronenleiterstrecken

- NL I, der sich links von der Achse des 10 H-Kanals (Anstellwinkel $0,44^\circ$) und horizontal in gerader Richtung fortsetzt,
- NL II A, der sich rechts von der Achse des 10 H-Kanals (Anstellwinkel $1,03^\circ$) und horizontal in gerader Richtung fortsetzt, und
- NL II B, der wie NL II A beginnt, dann aber horizontal einen Bogen nach rechts (Radius 490 m) beschreibt.

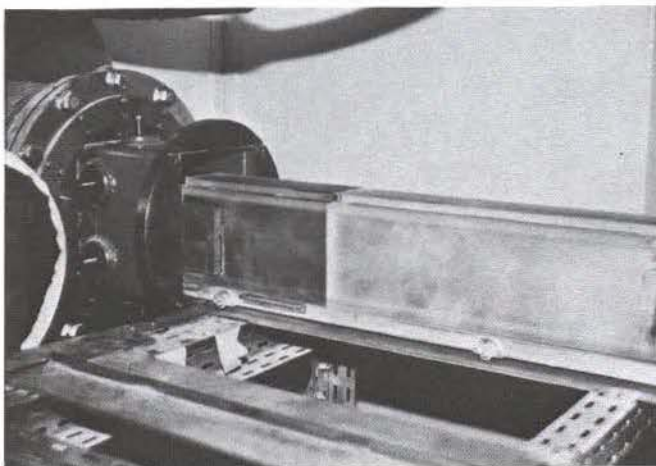


Bild 51
Glaselement des Neutronenleiters, vorbereitet zum Einführen in das Stahlgehäuse, auf dem Spezial-Schienenensystem

Der sich spreizende Verlauf der drei Neutronenleiter ist erforderlich, um im wesentlichen den endständigen Experimentaufbauten genügend Aktionsraum zu verschaffen.

Innerhalb der Reaktorhalle verlaufen die drei Neutronenleiter jedoch noch eng nebeneinander. Sie sind gemeinsam von einem selbsttragenden Stahlgehäuse (SGA) umschlossen, das auf einer eigens errichteten, vom Hallenboden getrennten Stahlkonstruktion ruht (statische und dynamische Entkopplung) und bei einer Länge von ca. 11 m bis durch den Hallenwanddurchbruch in die Kasematte der ELLA-Halle führt. Hier enden die Neutronenleiter zunächst vor Aluminium-Fenstern des Stahlgehäuses. Dieses bildet mit Strahlverschluß und Weiche vakuumtechnisch ein gemeinsames Gefäß, das mit einer eigenen Vakuumversorgung ausgestattet ist. Am Hallenwanddurchbruch (Durchmesser ca. 0,8 m) sind Stahlgehäuse und Hallenwand über eine bewegliche Flanschanordnung abdichtend miteinander verbunden, um das Hallen-Containment nicht zu unterbrechen.

Das Stahlgehäuse verfügt über eine Vielzahl von kleineren Glasfenstern und Justageelementen zur exakten Ausrichtung der Glaselemente. Diese wurden vom hinteren Gehäuseende über ein Spezial-Transportsystem (Bild 50) nacheinander an ihre vorbestimmte Stelle gefahren und dort später unter Vakuum mit Hilfe von Theodoliten einzeln vermessen und ausgerichtet.

In der Reaktorhalle ist NL I zum Einbringen von Monochromatorkristallen für das Flugzeitspektrometer SV 5c (Bild 42) an drei Stellen unterbrochen. Hier befinden sich vakuumdichte Aluminium-Einsätze im Stahlgehäuse, die es erlauben, einen Monochromator von oben in den Strahlengang des Neutronenleiters einzuführen.

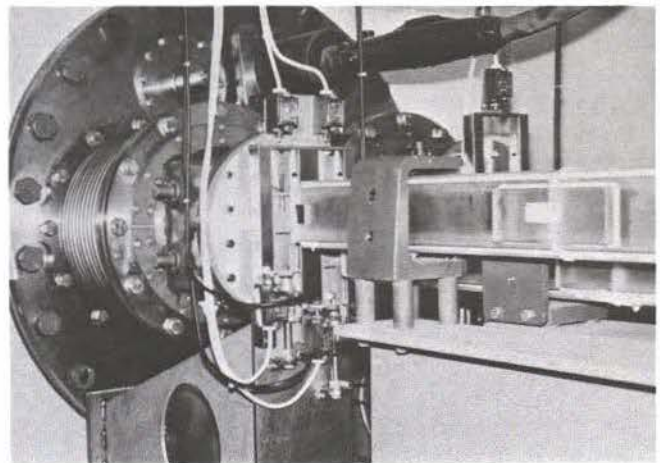


Bild 52
Neutronenleiter-Schnellverschlüsse außerhalb des Hallenwanddurchbruchs am Übergang des Neutronenleiters vom Stahlgehäuse in den freistehenden Abschnitt zum ELLA

Das gesamte Neutronenleitersystem im Bereich der Reaktorhalle ist von einer Betonabschirmung umgeben, deren Einzelelemente demontierbar sind. Dazu wurden an den Stellen der drei Monochromatorkammern gestufte Futterrohre von oben präzise in die Betonabdeckung eingegossen, um den Monochromator wahlweise in eine der Kammern ungehindert einführen zu können. Die beiden übrigen Schächte sind unterdessen mit Blindstopfen zu verschließen. Die seitliche Verbindung zum Spektrometer wird einerseits über entsprechende Aluminium-Fenster im Stahlgehäuse sowie Bleitore in der Betonabschirmung gewährleistet, andererseits über jeweils ein Vorsatzstück mit Chopper und das dreifach adaptierbare Neutronenflugrohr hergestellt.

In Weiterführung der drei Neutronenleiter nach dem Durchtritt durch die Reaktorhallenwand schließen sich an das Stahlgehäuse die vollautomatischen Neutronenleiter-Schnellverschlüsse (Bild 50, NVL) an, für jeden Leiter jeweils einer. Diese sind vom Neutronenleitersystem mechanisch entkoppelt montiert und haben gegenüber dem Stahlgehäuse einen vorgeschriebenen Mindestabstand von 15 mm zur Sicherheit gegen Erdbeben. Diese Art des Strahlverschlusses ba-

siert darauf, daß eine 12 mm dicke Schicht Lithium-6, in welcher Neutronen völlig absorbiert werden, in den Leiterquerschnitt gefahren wird. Dadurch ist der anschließende Leiterabschnitt frei von Neutronen, so daß Eingriffe in den Neutronenleiter, z.B. für den Experimentumbau, ungefährdet vorgenommen werden können.

Das nach den „Lithium-Schnellverschlüssen“ weiterführende Neutronenleitersystem unterscheidet sich von dem im Stahlgehäuse in besonderer Weise: Im anschließenden Bereich, d.h. in der Kasematte sind die Glasleiterabschnitte, die jeweils zwischen zwei Aluminium- oder Zircaloy-Fenstern liegen, selbst als Vakuumgefäße evakuierbar und verfügen über einen nach oben herausführenden Pumpstutzen (Bild 53).

Diese Stutzen sind mit dem Vakuumsystem, getrennt nach NL I und NL II, verbunden. Dementsprechend gibt es auch zwei Vakuumpumpsysteme, welche auf der Kasematte aufgestellt sind. Im Bedarfsfall, z.B. für Filterwechsel, können beide Pumpsysteme kurzgeschlossen werden. Der Arbeitsdruck im Vakuumsystem beträgt $\leq 10^{-2}$ mbar.

Neutronenspektrometer im ELLA (IFF)

An NL I (Bild 50) sind längs der Kasematte zwei Experimente im ELLA angekoppelt: Das Diffuse Neutronen-Spektrometer (DNS) und das π - oder Rückstreuungsspektrometer (PI 1) mit dem zugehörigen Dopplerantrieb (DA). Für das von früher vorhandene DNS

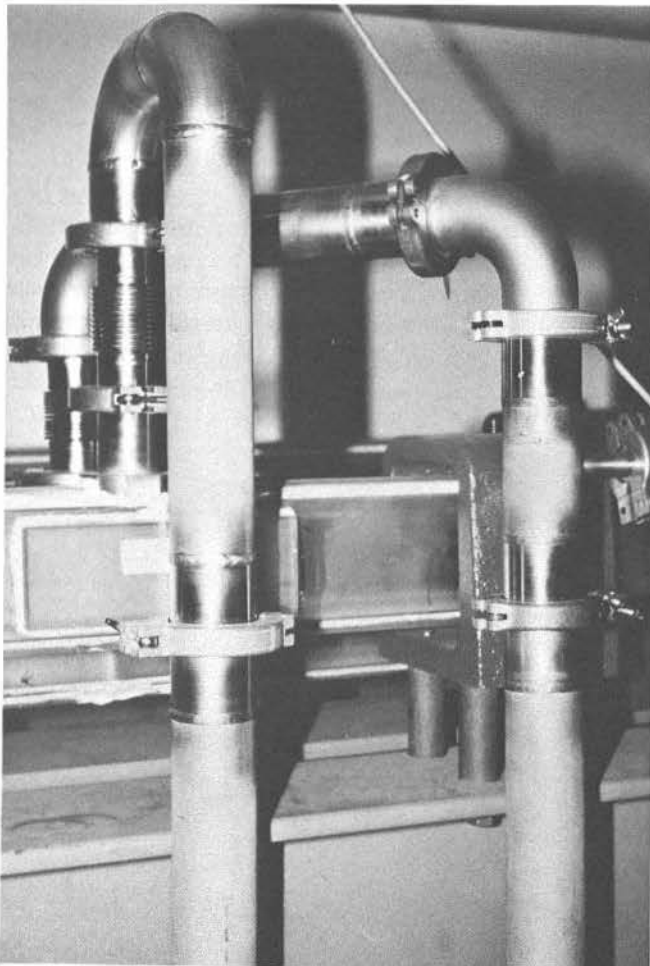


Bild 53
Ankopplung des Vakuumsystems an Neutronenleiter im ELLA

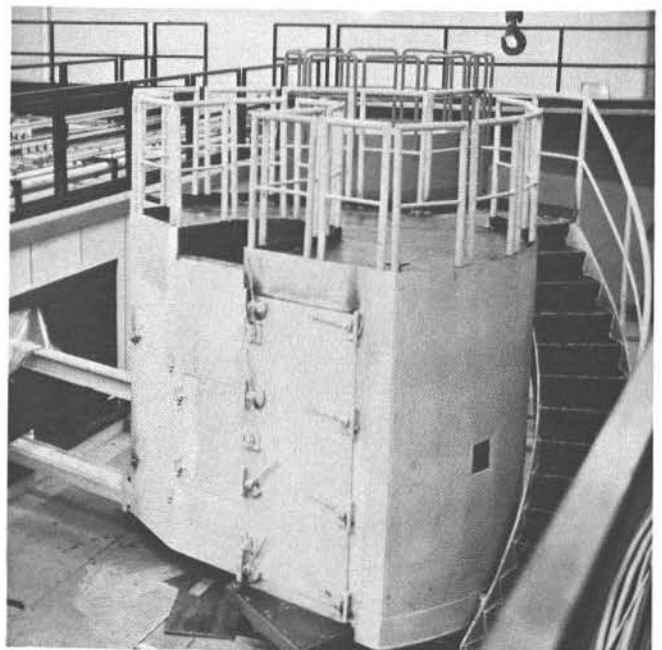


Bild 54
 π - oder Rückstreuungsspektrometer (PI 1, Bild 50) mit Drehpunkt in der Kasemattenwand und Träger für den konischen Neutronenleiter, der durch die verschiebbare Stahlblende in der Kasemattenwand führt.

wurden der Unterbau mit drei Luftkissenfüßen sowie die Adaptionseinheit neu konzipiert.

Das π -Spektrometer (Bild 54 und Bild 36, Seite 38) stellt demgegenüber insgesamt, d.h. einschließlich aller Einbauten eine neue Konstruktion dar. Um einen Drehpunkt unten an der Kasemattenwand läßt sich das Abschirmgehäuse auf zwei Luftkissenfüßen kreisbogenförmig verschieben. Dementsprechend war die Verbindung mit dem Neutronenleiter über eine konstruktiv aufwendige, verschiebbare Stahlblende in der Kasemattenwand aus Abschirmgründen erforderlich. Der Neutronentransport aus der Kasematte zum Spektrometer erfolgt über einen abgeschirmten, konischen Neutronenleiter.

Etwa 2,5 m nach diesem Abzweig befindet sich, NL I umhüllend, der neuartige, hydraulisch gesteuerte Dopplerantrieb für eine in Strahlrichtung pulsierende Kristallhalterung (DA und Bild 36, Seite 38). Die darauf fixierten Siliziumkristalle selektieren und reflektieren aus dem Neutronenstrahl Neutronen bestimmter Wellenlänge. Ihre Geschwindigkeit von 630 m/s wird dabei periodisch um maximal $\pm 2,5$ m/s geändert. Sie erreichen über den seitlich konisch erweiterten Teil des NL I und den zum π -Spektrometer führenden konischen Neutronenleiter die Probe und führen infolge des Doppler-Effektes zu einem wesentlich erhöhten Auflösungsvermögen des Spektrometers [23,24].

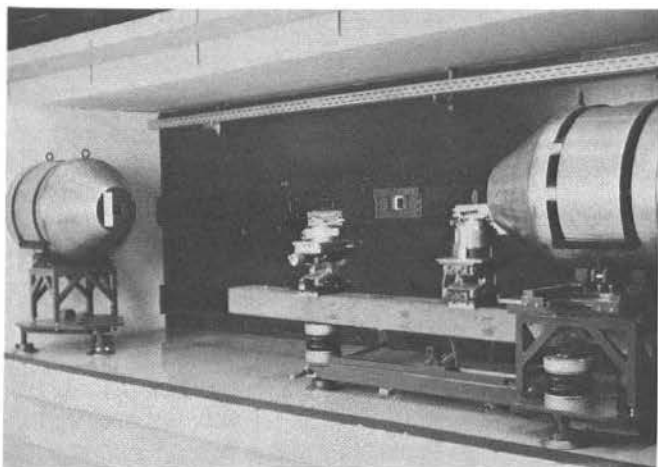


Bild 55
Doppelkristalldiffraktometer in einer Nische der Kasemattenwand, bestehend aus optischer Bank, aus der Bewegungsmechanik und den beiden Detektoren

Auf der gegenüberliegenden Seite der Kasematte befindet sich das Doppelkristalldiffraktometer (DKD). Es ist über ein Neutronenflugrohr mit der Monochromatorkammer im NL II A verbunden. Die präzise ebene Bewegungsmechanik wird, wie die beiden Detektoren, auf Luftkissenfüßen geführt (Bild 55). Sie hält die auf ihr montierte biegesteife optische Bank parallel zum NL II A. Auf dieser Bank, an deren äußerem Ende einer der Detektoren fest angebracht ist, werden zum

Ausmessen von Kleinstwinkeln zwei sog. perfekte Siliziumkristalle aufgestellt, zwischen welche die Probe zu positionieren ist.

Das daneben stehende Rückstreuspektrometer PI 2 greift ebenfalls auf NL II A zurück. Es wird von Experimentatoren der RWTH Aachen eingesetzt.

Neutronen-Kleinwinkel-Streuapparaturen (IFF, Universität Mainz)

Am Ende der ca. 20 m langen Kasematte enden die Neutronenleiter NL II A und NL II B jeweils vor einem Geschwindigkeitsselektor (GS). Hier werden nur Neutronen von ganz bestimmter Geschwindigkeit bzw. Wellenlänge für die beiden anschließenden, konstruktiv identischen Kleinwinkelstreuapparaturen KWS 1 (IFF) und KWS 2 (Universität Mainz) durchgelassen (Bild 50).

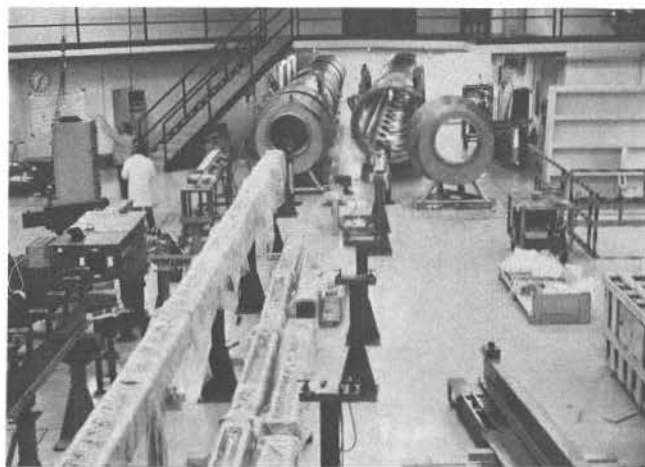


Bild 56
Montage der Kleinwinkelstreuapparaturen im ELLA; im Vordergrund die Kollimatorwechselbehälter; dahinter die beiden Detektorrohre und eine Schwenkkammer

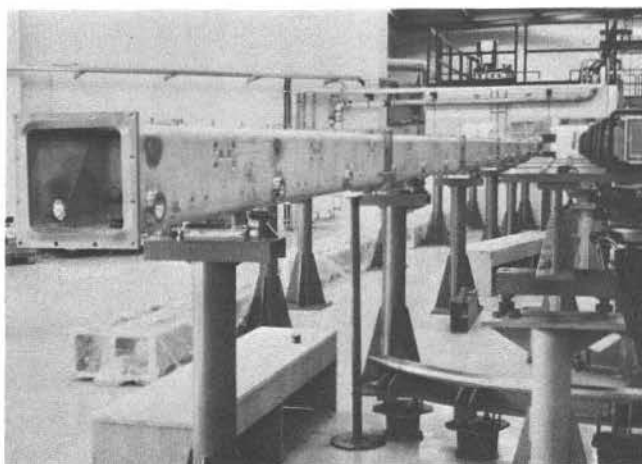


Bild 57
Fertig montiertes Gehäuse eines Kollimatorwechselbehälters auf Stahlstützen, ohne Einbauten

Eine KWS besteht aus einem Kollimatorwechselbehälter (KWB) mit quadratischem Querschnitt von $240 \times 240 \text{ mm}^2$ und ca. 20 m Länge sowie aus einem Detektorrohr (DTR) mit etwa 1,4 m \varnothing und ebenfalls ca. 20 m Länge einschließlich vorgelagerter Schwenkkammer (SK) (Bild 56).

Der Kollimatorwechselbehälter (Bild 57) setzt sich aus Gehäuseabschnitten von 3 bis 5 m Länge zusammen, welche insgesamt einen durchgehenden, vakuumdichten Gehäusekörper bilden. Der Neutronenleiter im Inneren dieses Gehäuses, das auf sieben Stahlfeilern justiert ruht, besteht aus Glaselementen von 1 m Länge, die abschnittsweise aus dem Neutronenstrahl herausgerückt werden können, um die Kollimation des Neutronenstrahles zu variieren. Trotz der zahlreichen, oben angebrachten Gehäusedeckel zur Erleichterung der Montage und Justage von Ver-

schiebemechanik und Glaselementen im Innenraum wurde eine integrale Helium-Leckrate je Einzelabschnitt von $\leq 10^{-6} \text{ mbar l s}^{-1}$ erreicht.

Die Schwenkkammern im Anschluß an die Kollimatorwechselbehälter sind Bestandteil der Detektorrohre und an diese lösbar angeflanscht. Sie stehen auf Luftkissenfüßen und haben am Boden einen festen Drehpunkt, oberhalb dessen sich jeweils der Probenort befindet. Die Detektorrohre (Bild 58) hingegen sind mit ihren maximal 3 m langen Einzelschüssen fest auf Betonsockeln montiert. Sie nehmen ein Schienensystem auf, dessen horizontale und vertikale Abweichung maximal 0,2 mm beträgt. Auf diesen gehärteten und geschliffenen Stahlschienen rollt der von außen ansteuerbare Detektorwagen (Bild 59) mit Kabelschleppe, der einer reproduzierbaren Positioniergenauigkeit von $\pm 1 \text{ mm}$ genügt. Der Detektor kann auf

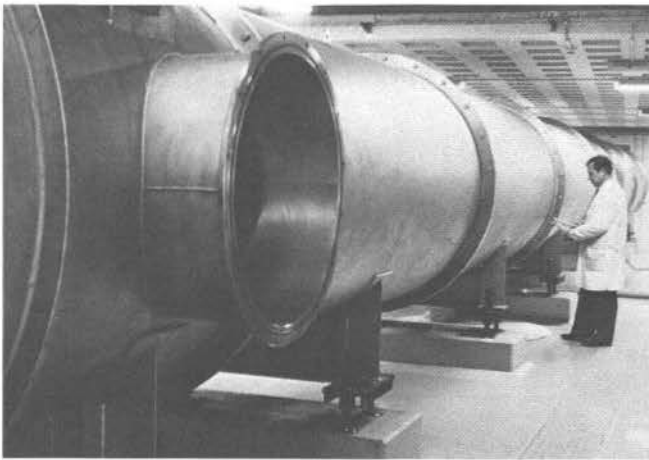


Bild 58
Montage einer Detektorrohreinheit, zusammengesetzt aus 3 m langen Einzelelementen

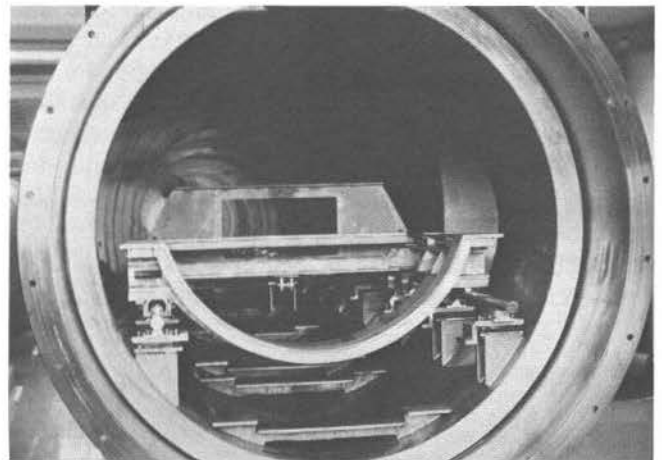


Bild 59:
Blick in ein Detektorrohr: Im Vordergrund der vormontierte Detektorwagen auf dem Schienensystem

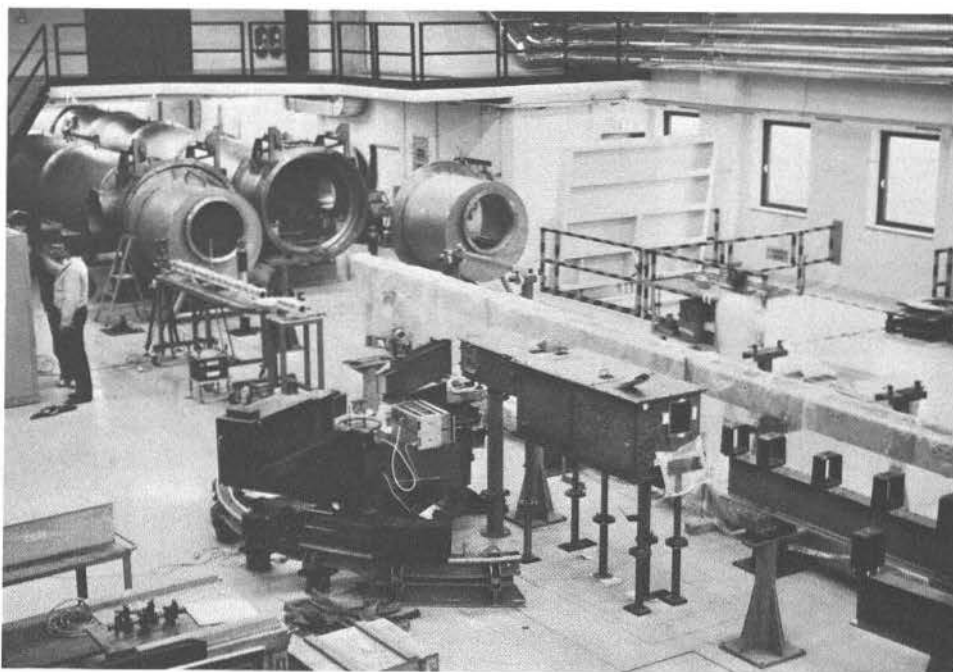


Bild 60:
Aufstellung des Spektrometers HADAS, mit Abschirmkammer für den vorgeschalteten Chopper und vormontiertem Stahlträger für einen Neutronenleiter (rechts vorn); daneben ein Kollimatorwechselbehälter sowie die Detektorrohre im Hintergrund

dem Wagen quer zu seiner Achse horizontal und vertikal über getrennte Stellmotoren verfahren werden.

Der gesamte Innenmantel der Detektorrohre wie auch alle dem Neutronenstrahl entgegengerichteten Flächen wurden mit 0,5 mm dickem Cadmiumblech ausgekleidet, um Streustrahlung zu vermeiden und den Störuntergrund von außerhalb klein zu halten.

Am Neutronenleiter NL I beginnt kurz hinter dem Dopplerantrieb ein 2 m langes Verzweigungsstück (Bild 50), welches den Innenquerschnitt von 70 x 100 mm² in NL I A mit 19,7 x 100 mm² und NL I B mit 48,3 x 100 mm² aufteilt. NL I A wird im Bogen ($R = 57$ m) nach links als sog. Bender, einem in vertikaler Richtung mit dünnen Glaslamellen versehenen Spezial-Neutronenleiter von 1,5 m Länge, weitergeführt. Danach verläuft NL I A in für Polarisationszwecke modifizierter Form 4 m geradeaus, bis er das endständige Experiment für Kernpolarisation (β -NMR) der Universität Marburg über einen konischen Neutronenleiter von 2 m Länge erreicht.

Neben dem Bender führt NL I B ab dem Verzweigungsstück in gerader Richtung weiter, wie vorher NL I, und trifft nach ca. 6,5 m auf einen Chopper, der dem teilweise umgebauten eines Hochauflösenden Dreiaachsen-Spektrometer HADAS (Bild 60) vorgeschaltet ist.

Nach weiteren 3 m erfolgt eine Unterbrechung für den Anschluß von HADAS. Nach dem Passieren eines Drapkin-Flipper wird – in der endgültigen Ausbauphase – NL I B nach einer Gesamtlänge von 16 m an der Untersuchungseinrichtung Kalte Neutronen, UKN, für in-vivo-Versuche des IME mit einem konischen Neutronenleiter enden.

Der gegenwärtige Zustand des Neutronenleitersystems bis einschließlich des Kasemattenbereiches entspricht gemäß ersten Intensitätsmessungen bei weitem den ursprünglichen Erwartungen, bezogen auf die Auslegung des Systems. Gegenüber seinem Vorgänger hat das jetzige Neutronenleitersystem eine um den Faktor 4 bis 8 bessere Transmission am NL I, am NL II A/B sogar um den Faktor 14 bis 18.

Das Neutronenleitersystem ist als Vergabeauftrag über AP, gemeinsam mit dem IFF von der Spezifikation bis zur Abnahme durch TD-MW ingenieurtechnisch betreut, von einer französischen Firma hergestellt und montiert worden. In gleicher Weise wickelte sich die Zusammenarbeit bei der Beschaffung der Kollimatorwechselbehälter und der Detektorrohre ab. Letztere Geräte wurden von deutschen Firmen gefertigt sowie von IFF- und TD-MW-Mitarbeitern gemeinsam montiert, geprüft und abgenommen.

Technische Normung (TD-MW/N)

Anforderungen und Aufgaben

- Innerbetriebliche Normung von standardisierbaren Materialien und Geräten, Bereitstellung technischer Regelwerke für Herstellung und Betrieb technischer Anlagen
- Material- und Gerätenormung
- Technische Regelwerke
- Vordruckgestaltung

In jedem technischen Großbetrieb werden häufig wiederkehrend Werkstoffe, Materialien, Kaufteile und Geräte der gleichen Art und Qualität benötigt. Sie sind damit der innerbetrieblichen Standardisierung zugänglich, die ihre Beschaffung und Auslieferung wirtschaftlicher gestalten läßt. Dies setzt einerseits voraus, daß der Betrieb interne technische Kataloge bereithält, welche die sonst regelmäßig benötigten und immer wieder neu zu beschaffenden Firmeninformationen und -angebote ersetzen. Andererseits muß der Einkauf für diesen Produktbereich über technische Spezifikationen als Bestelltexte verfügen, welche die anwendungsorientierten technischen Eigenschaften der Standardartikel so genau beschreiben, daß die wirtschaftliche Beschaffung für in- und externe Lagerhaltung in größeren Losen und für längere Zeitabschnitte möglich wird.

Die Ausarbeitung der Lagerkataloge und der technischen Bestelltexte obliegt der Gruppe Material- und Gerätenormung. Sie erfüllt damit eine übergeordnete Aufgabe. Jährlich müssen etwa 2000 Normungsvorhaben bearbeitet werden, d.h. es sind Neuaufnahmen von Artikeln und Anpassungen an den Stand der Technik sowie an die sich häufig ändernden Verbraucheranforderungen vorzunehmen. Etwa 20000 Standardartikel sind in 26 Sachgebiete eingeteilt. Die Akzeptanz der Arbeit durch die Anwender drückt sich in den jährlich ca. 70000 Bestellungen mit rund 250000 Einzelpositionen und dem Warenumsatz von etwa 11 Mio. DM aus (Stand 1985).

Herstellung und Betrieb von Experimentiereinrichtungen und technischen Betriebsanlagen müssen aus Sicherheitsgründen stets nach dem „anerkannten Stand der Technik“ erfolgen. Dahinter verbirgt sich eine Vielzahl von Gesetzes-, Sicherheits-, Güte- und Verfahrensvorschriften und -regeln, die den Arbeiten sowohl bei der Planung und Herstellung als auch nach der Inbetriebnahme stets zugrunde zu legen sind (Bild 1). Die häufig benötigten Regelwerke sind für den Anwender auf dem aktuellen Stand bereitzuhalten und im Bedarfsfall auszuhändigen.

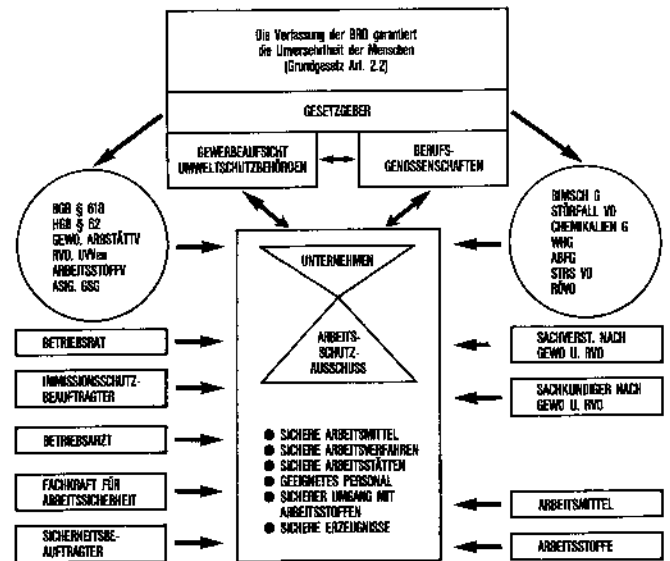


Bild 1

Die Tätigkeit eines technisch orientierten Unternehmens unterliegt vom Gesetzgeber erlassenen Gesetzen und Verordnungen, deren Einhaltung von der Berufsgenossenschaft und der Gewerbeaufsicht überwacht wird. Um die Anforderungen zu erfüllen, schafft sich das Unternehmen eine intern verantwortliche Struktur mit dem Ziel, die Produkt- und Arbeitssicherheit zu gewährleisten sowie schädigende Umgebungseinflüsse möglichst zu vermeiden.

Gegenwärtig sind etwa 30 deutsche technische Regelwerke mit zusammen über 25000 Einzelregeln für die KFA relevant. Davon werden etwa 7000 technische Regeln bereitgehalten und katalogisiert. Jährlich werden hier rund 10000 Anforderungen gültiger technischer Regeln bearbeitet.

Wie in jedem Großbetrieb sind auch in der KFA Arbeitsabläufe und Informationswege vereinfachende Vordrucke notwendig. Um das Vordruckwesen anforderungsgerecht zu gestalten, wird diese Aufgabe in enger Zusammenarbeit mit der Stabsstelle RO erledigt.

Material- und Gerätenormung

- Erarbeitung der technischen Grundlagen für die wirtschaftliche Beschaffung, Bereitstellung und Anwendung ständig wiederkehrend benötigter Standardartikel und -geräte
- Bearbeitung und Herausgabe der Lagerkataloge als technische Verbraucherinformation für die interne Beschaffung
- Erarbeitung von technischen Spezifikationen als Grundlage der Bestelltexte für die externe Beschaffung

- Überprüfung der Standardartikellieferungen auf Einhaltung der Bestellspezifikation
- Zusammenarbeit mit den Beratungsausschüssen für Standardartikel
- Erproben von Standardmaterial und -geräten
- Beratung der Anwender, Einkäufer und Warenprüfer

Ausgehend von den forschungsbezogenen Aufgaben, Anforderungen und Anwendungen werden häufig benötigte Geräte sowie Zubehör- und Ersatzteile für die Betriebs- und Experimentiereinrichtungen der KFA standardisiert [47].

Standardisierung eines Transistors

Experimentier- und Betriebseinrichtungen benötigen eine Vielzahl elektronischer Bauelemente, deren wirtschaftliche Beschaffung angesichts der Angebotsvielfalt des Marktes nur durch Standardisierung möglich ist (Bilder 2 und 3).

Zunächst erfolgt eine Sammlung und vergleichende Überprüfung gleichartiger Bedarfsfälle. Danach wird eine technische Beschreibung und Spezifikation der Anforderungen am Einsatzort nach den Kriterien von Qualität, Menge und Anwendungshäufigkeit der benötigten Artikel vorgenommen.

Am Markt befindliche gleichartige Produkte werden hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften verglichen und in vielen Fällen praktisch erprobt. Die Zulassung als Standardartikel erfolgt auf Vorschlag der Technischen Normung und nach eingehender Diskussion der Anforderungen und Prüfergebnisse in dem zuständigen Beratungsausschuß, in dem neben dem Normensachbearbeiter auch Anwender und Einkäufer

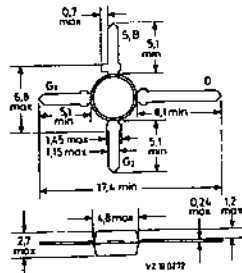
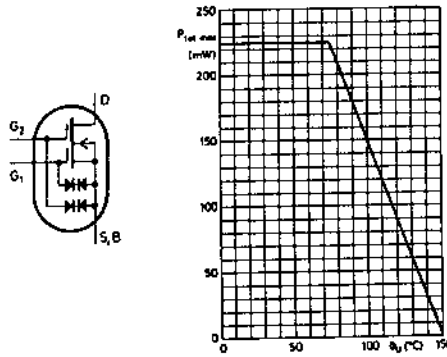
KFA Jülich GmbH		500-0601.00			
54	Transistoren N-Kanal-MOS-Feldeffekt-Transistor-Tetrode				54
Maße in mm Mengeneinheit: Stück					
Allgemeine Daten					
Ausführung:		Rauscharmer N-Kanal-Sperrschicht-Feldeffekt-Transistor-Tetrode mit integrierten Schutzdioden			
Gehäuse:		Kunststoff, SOT-103			
Annahmeprüfung:		AQL 0,6			
Hersteller:		Valvo			
Absolute Grenzwerte					
Drain-Source-Spannung:		20 V			
Drainstrom, Mittelwert:		20 mA			
Drainstrom, Scheitelwert:		30 mA			
Gate 1 - Strom:		10 mA			
Gate 2 - Strom:		10 mA			
Gesamtverlustleistung bei $\Theta_{JA} \leq 75^{\circ}\text{C}$:		225 mW			
Kanaltemperatur:		150°C			
Lagertemperatur:		-55°C bis +150°C			
Wärmewiderstand:		$\leq 0,335 \text{ K/mW}$ (zwischen Kanal und Umgebung)			
					
Bezeichnung		Typ	Lagernummer	LD	URP DM pro ME
N-Kanal-MOS-Feldeff. Transistor-Tetrode		BF 981	505.01.107	01	10,00
HINWEIS: entsprechende Datenblätter können bei TD-MW/N (Tel. 6098) eingesehen bzw. kopiert werden.					
B	Ausgabe 01.86 Ba			Preisstand 03.86	

Bild 2
Lagerkatalogblatt für einen standardisierten Transistor. Für den Anwender werden Datenblätter erstellt, die alle zur Auswahl und Bestellung erforderlichen Informationen enthalten und Bestandteil des Sachgebiet-Lagerkataloges sind. Die interne Beschaffung erfolgt vereinfacht durch Angabe von Lagernummer und Bestellmenge auf einem Materialentnahmeschein.

vertreten sind. Für die insgesamt 26 Sachgebiete überwachen und steuern 11 Beratungsausschüsse die innerbetriebliche Normungsarbeit.

Nach dem Beschluß zur Standardisierung eines Artikels bzw. einer Artikelgruppe werden alle wesentlichen technischen Daten zusammenfassend in einem Lagerkatalogblatt geführt (Bild 2).

Die Lagerkataloge enthalten damit die Verbraucherinformation für die interne Beschaffung, also für die Lagerentnahme. Parallel dazu werden dieselben technischen Daten zu einem technischen Bestelltext, d.h. zu einer technischen Bestellspezifikation zusammengestellt, welche der externen Beschaffung dient (Bild 3). Zur Identifikation der Standardartikel wird eine Lagernummer festgelegt.

Neuaufnahme, Aktualisierung und Streichung von Standardartikeln erfordern eine ständige Zusammenarbeit der Beteiligten und gegenseitige Beratung der Normensachbearbeiter, Anwender, Einkäufer und Warenprüfer. Darüber hinaus ist eine regelmäßige Marktbeobachtung notwendig, um den Einfluß technischer Änderungen von Produkteigenschaften rechtzeitig zu erfassen und auf Vereinbarkeit mit den geforderten Eigenschaften zu überprüfen.


Um den wachsenden Anforderungen der Verbraucher bezüglich Aktualität, technischem Fortschritt und schneller Verfügbarkeit der Standardartikel Rechnung zu tragen, wird die Material- und Gerätenormung seit 1984 mit einem leistungsfähigen Datenverarbeitungssystem durchgeführt und dokumentiert.

Technische Regelwerke

- Prüfen und Bereitstellen der für die Durchführung der technischen Aufgaben der KFA erforderlichen, anerkannten Regeln der Technik
- Gültigkeitsüberwachung, Änderungsdienst
- Ausgabe für den internen Gebrauch
- Beratung der Anwender

Bei Planung, Bau und Betrieb bestimmter Forschungseinrichtungen und technischer Betriebsanlagen ist die Anwendung technischer Regeln vorgeschrieben. Sie ergibt sich zwingend aus Rechts- und Verwaltungsvorschriften, mit denen einerseits beabsichtigt ist, Unfälle nach dem Stand der Technik zu verhüten und die Sicherheit der Menschen, die technische Einrichtungen herstellen und betreiben müssen, zu gewährleisten. Darüber hinaus sollen schädliche Umgebungsbelastungen so weitgehend wie möglich reduziert oder ganz vermieden werden (Bild 1).

Diese Vorgaben führen – wie die GWO § 24 (3) zeigt – direkt zu den Anerkannten Regeln der Technik (Bilder 4 und 5). Hier handelt es sich beispielsweise um Gütevorschriften für Werkstoffe und Lieferzustände von Halbzeugen sowie um Verfahrensvorschriften für deren geeignete und nachprüfbare Verarbeitung. Im einzelnen sind DIN-Normen und VDI/VDE-Richtlinien, Technische Regeln für Druckbehälter (TRB), vor allem aber die Regelwerke der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter (AD) mit den AD-Merkblättern als an-

M A T E R I A L - S T A M M K A R T E		TD-MW/N
NEUAUFNAHME		
	KARTE ERSTELLT AM :	07.01.86
	DOKUMENTEN-NR. :	500-0681.00
LAGERNUMMER :	LAGERORT :	01
	ME :	ST
	STANDARDISIERT ALS: LAGERARTIKEL	
BEMERKUNG : LAUT BERATUNGSAUSSCH. 5/85, PKT. 1		
KURZTEXT : MOS-FET TYP BF 981-		
MATERIALTEXT:		
N-KANAL-MOS-FELDEFEKT-TRANSISTOR-TETRODE GEHÄUSE: KUNSTSTOFF, SOT-103, HERSTELLER: VALVO, TYP: BF 981, QUALITÄTSPRÜFUNG NACH DIN 40 080 AQL 0,6 PRÜFNIVEAU II,		
DEN 02.05.86		
UNTERSCHRIFT:		

*Bild 3
Material-Stammkarte eines Transistors mit technischem Bestelltext. Der für die externe Beschaffung und Materialdisposition erforderliche technische Bestelltext enthält alle anwendungsorientierten technischen Details unter Berücksichtigung der anwendbaren technischen Regeln. Erst mit dieser präzisen Spezifikation können technisch und preislich vergleichbare Angebote eingeholt werden.*

erkannte Technikregeln zu nennen, die Güte-, Auslegungs- und Verfahrenskriterien für Herstellung und Betrieb überwachungsbedürftiger technischer Anlagen und Komponenten bis ins Detail vorschreiben (Bilder 6 und 7).

Daraus erwachsen für die Technische Normung folgende Aufgaben: Das Beschaffen neuer gültiger technischer Regeln bei den regelgebenden Institutionen sowie die ständige Gültigkeitsüberwachung der Bestände durch Auswerten der Verlagsmitteilungen und -verzeichnisse. Für die Anwender von techni-

schen Regeln muß eine stets aktuelle Gesamtübersicht der verfügbaren und bereitgehaltenen gültigen Regelwerke herausgegeben werden.

Der Umfang anzuwendender Regelwerke ist sowohl wegen der großen Anzahl bestehender Vorschriften, der vielen unterschiedlichen regelgebenden Institutionen als auch wegen der fachlichen Vernetzung der technischen Regeln nur schwer überschaubar. Entsprechend sind die mit Errichtung und Betrieb technischer Anlagen befaßten Mitarbeiter in den Instituten, Projekten und Zentralabteilungen zu beraten.

Bild 4
Die Gewerbeordnung (GWO) schreibt in § 24 (3) vor, daß überwachungsbedürftige Anlagen bestimmten technischen und organisatorischen Anforderungen genügen müssen, die in technischen Vorschriften zusammengefaßt sind. Im Blockschema beispielhaft genannte Rechtsverordnungen verweisen direkt auf technische Regeln (TR), die Vorschriften im Sinne der GWO sind.

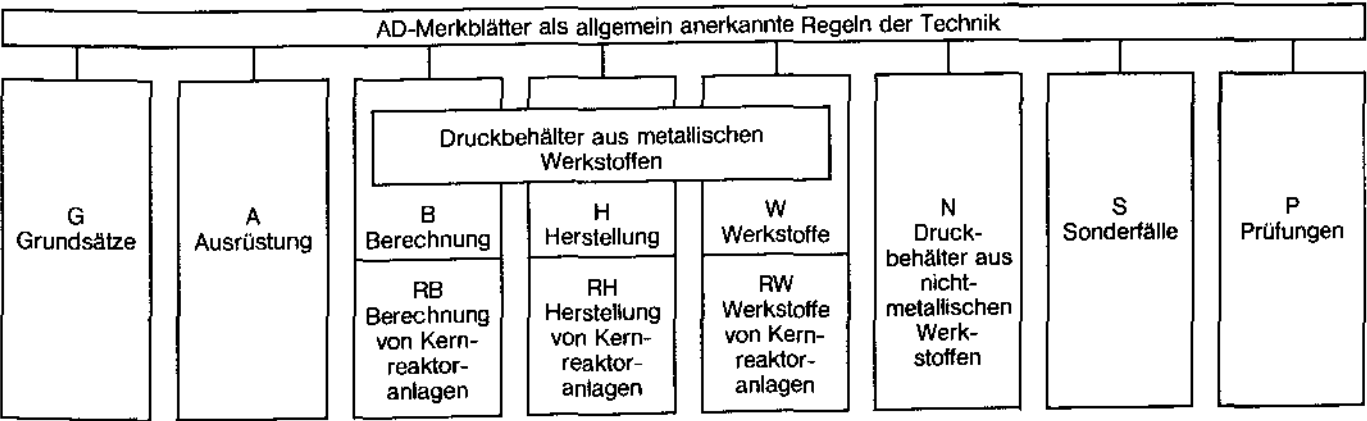
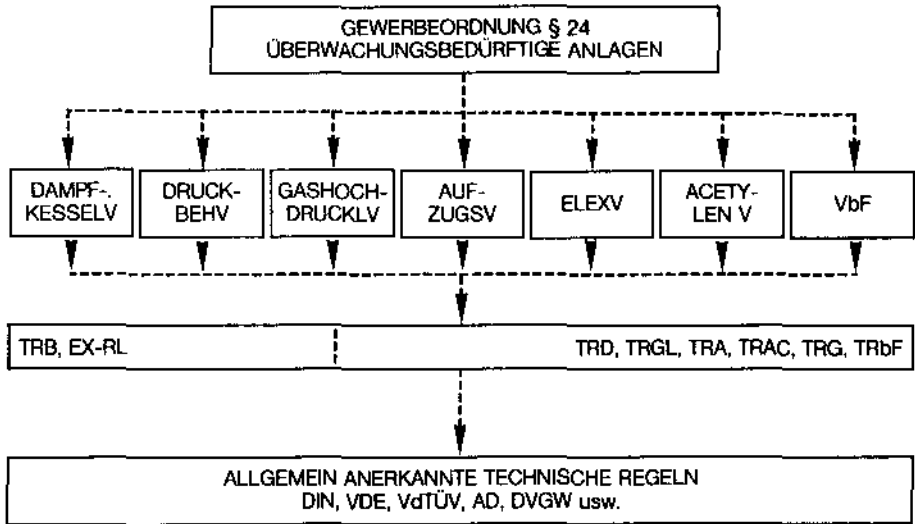


Bild 5
Übersicht über die Reihe der AD-Merkblätter. Druckbehälter, zu denen fallweise auch deren Ausrüstung und Rohrleitungen zählen, sind ab einer bestimmten Größe sowie oberhalb bestimmter Betriebsdrücke und -temperaturen in Auslegung, Herstellung und Betrieb stets überwachungsbedürftig. Sehr detaillierte Vorschriften finden sich hierzu in den technischen Regeln der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter (AD).

Druckbehälterherstellung und -betrieb	Vorschrift, Technisches Regelwerk
Planung	GWO § 24 (3); DruckbehV § 8 (1), 9 (1)
Berechnung, Konstruktion	TRB 100, 300, 400; AD-A, AD-B, AD-HP 1, AD-W 2
Arbeitsvorbereitung	TRB 500
Vorprüfung	AD-HP 1
Verfahrensprüfung und Arbeitsprobe	AD-HP 2/1
Schweißerprüfung	DIN 8560, 8561
Materialbeschaffung und -bereitstellung	AD-H 3
Grundwerkstoff (1.4301, 1.4541, 1.4571)	AD-W 2, DIN 17440, 17458
Schweißzusatzwerkstoff (2.4806)	DIN 1736, VdTÜV-Kennblatt 1765
Fertigung	TRB 200, AD-HP 0 Nr. 3, AD-W 7/3
Schweißaufsicht	DIN 8363, AD-HP 3
Materialkontrolle und -kennzeichnung	AD-W 2, AD-HP 0 Nr. 4, DIN 50049
Fertigungsprüfung, Funktionsprüfung	DruckbehV § 9 (1), AD-HP 20
Prüfaufsicht	AD-HP 4
Zerstörungsfreie Prüfung	AD-HP 5/3
Bauprüfung	DruckbehV § 31, AD-HP 20 Nr. 5
Druckbehälterbetrieb, wiederkehrende Prüfungen	DruckbehV § 10 TRB 700, AD-BP

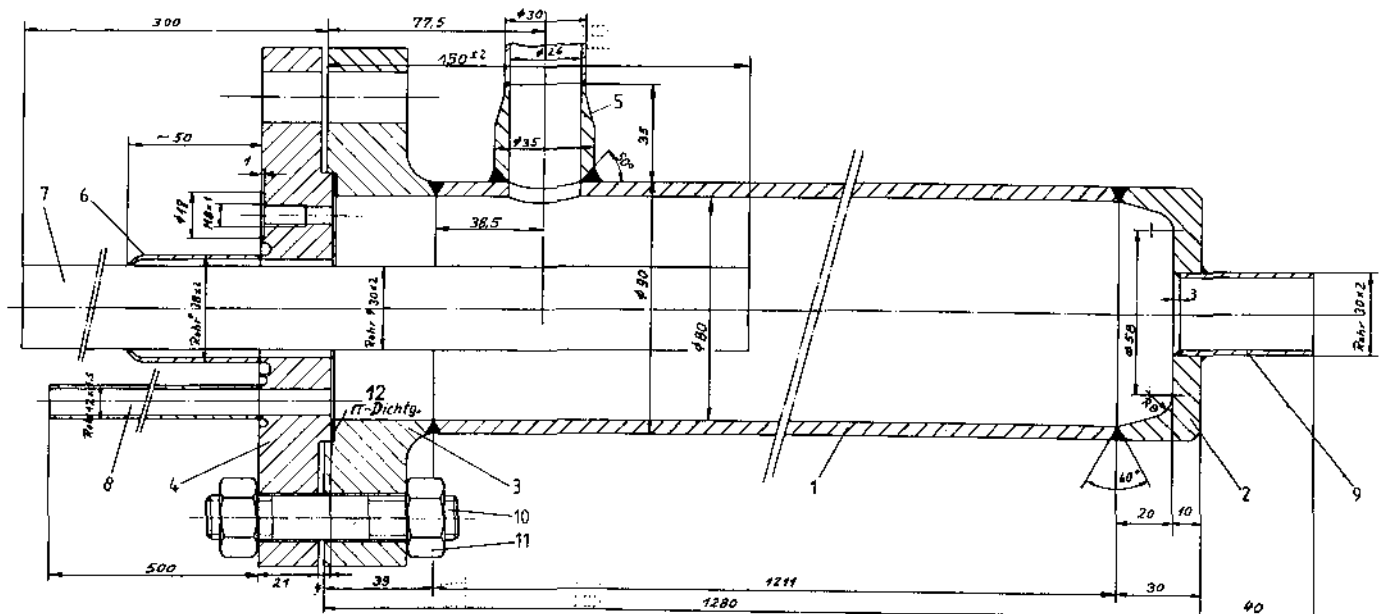
Bild 6

Regeln der Technik für Herstellung und Betrieb des in Bild 7 dargestellten Druckbehälters; durch Fachpersonal sowie mit einer geeigneten Betriebs- und Arbeitsablauforganisation ist sicherzustellen, daß für anforderungsgerechte Herstellung und sicheren Betrieb des Druckbehälters bestehende Vorschriften und Regeln eingehalten werden.

Bild 7

Beispiel eines einfachen Druckbehälters der Gruppe III DruckbehV; folgende technische Daten bestimmen die Herstell- und Betriebsanforderungen:

Betriebsüberdruck (p)	44 bar
Inhalt (l)	6,3 l
$p \times l = 277,2$	Gruppe III DruckbehV
Betriebstemperatur	550° C
Prüfüberdruck	58 bar
Betriebsdauer	10000 h
Betriebsmedium	Methan
He-Leckrate	10^{-6} mbar l/s



Vordruckgestaltung

- Normentechnische Vordruckbearbeitung
- Standardisierung und Formvorgabe allgemeiner Inhalte
- Inhaltliche und formale Anpassung an individuelle Arbeitsabläufe
- Normentechnische Überprüfung der Größen- und Einheitenzeichen

Vordrucke sind Organisations- und Hilfsmittel, um häufig wiederkehrende Informations- und Arbeitsabläufe zu vereinfachen und damit wirtschaftlicher zu gestalten. Als Datenträger ermöglichen sie, alle erforderlichen Vorgangsdaten vollständig abzufragen und zu erfassen. Sie helfen dadurch, Rückfragen zu vermeiden. Die KFA als Großbetrieb kann auf eine Mindestanzahl von Vordrucken oder Formularen nicht verzichten.

In Zusammenarbeit mit der Stabsstelle RO wird das Vordruckwesen ständig überprüft und normentechnisch bearbeitet. Hierzu gehört nicht nur, daß die Vordrucke einheitlichen übergeordneten Kriterien genügen sollen, sie sind vor allem inhaltlich den Arbeitsabläufen anzupassen und müssen z.B. schreibmaschinen- oder EDV-gerecht gestaltet werden. Die auf Vordrucken verwendeten Abkürzungen, wie Größen- und Einheitenzeichen, sind auf Übereinstimmung mit nationalen und internationalen Festlegungen zu überprüfen.

Eine ganz besondere Rolle spielt der Gesichtspunkt, die Anzahl der „Formulare“ auf ein unumgängliches Mindestmaß zu beschränken.

Berufliche Aus- und Weiterbildung

- Facharbeiterausbildung, schweißtechnische Ausbildung, Werkstattpraktika, Werkstättenplanung
- Berufsausbildung zum Mechaniker, Werkstattpraktikum für Technische Zeichner
- Berufsausbildung zum Glasapparatebauer
- Berufsausbildung zum Schweißer
- Praktische und theoretische Weiterbildung der vom TÜV anerkannten Schweißer
- Grundlehrgänge für alle gewerblich Auszubildenden
- Praktika für Schüler und Studenten
- Weiterbildung von ausländischen Fach- und Führungskräften

Auf Veranlassung der zentralen Berufsausbildung der KFA (PVA-SAV) führt TD-MW einen großen Teil der praktischen Berufsausbildung von *Mechanikern* im 2. und 3. Lehrjahr und Werkstattpraktika von *Technischen Zeichnern* durch. Nach den Ausbildungsplänen der Industrie- und Handelskammer Aachen werden die geforderten Kenntnisse und Fertigkeiten im Bereich der Fertigungstechnik vermittelt:

- Arbeitskunde
- manuelle Fertigung, Messen und Prüfen
- maschinelle Fertigung, Maschinenkunde
- Hobeln, Stoßen, Bohren, Senken, Reiben
- Drehen, Fräsen, Schleifen, Feinstbearbeitung
- Spanlose Formgebung
- Fügetechnik (Schweißen, Lötten)
- Kunststoffbearbeitung
- Kunststoff-Schweiß- und -Klebeverfahren
- Warmverformung, Gießen
- Aufgaben der Arbeitsvorbereitung (nur für Technische Zeichner)

Je nach angestrebtem Berufsziel werden die einzelnen Tätigkeiten zeitlich unterschiedlich lange durchgeführt bzw. vertieft (Bild 1). Im Jahresdurchschnitt werden etwa 10 Facharbeiter in TD-MW ausgebildet, etwa 7 Technische Zeichner absolvieren ein Werkstattpraktikum.

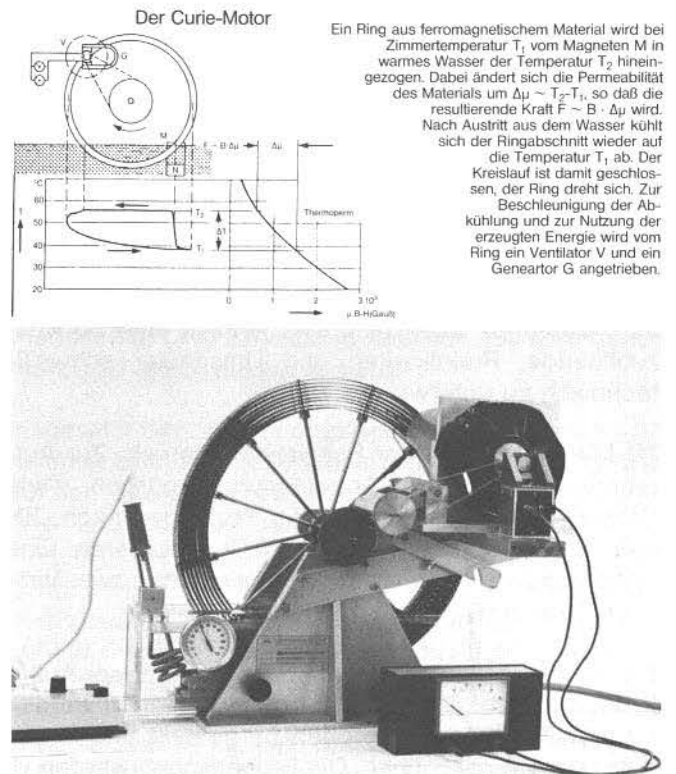


Bild 1
Der Curie-Motor, praktische Arbeit eines Ausbildungsjahrganges (Konzept und Entwurf von Prof. M. Pollermann)

Das Berufsbild der *Glasapparatebauer* ist aus den inzwischen veralteten Lehrberufen des Glasapparatebläfers und des Glasapparatejustierers neu koordiniert worden. Die Ausbildungsdauer umfaßt 3 Jahre mit folgenden Schwerpunkten:

- Anfertigen von Zeichnungen und Handskizzen sowie Festlegen des Arbeitsablaufes
- Einsatz, Pflege und Wartung von Werkzeugen, Geräten, Maschinen und Anlagen
- Kenntnisse der Gläser und anderer Werkstoffe im Glasapparatebau
- Formgebung von Glas
- Trennen, Zusammensetzen, Ansetzen und Biegen
- Auf- und Einblasen, Auftreiben, Bördeln und Einschmelzen
- Herstellen von Glasgeräten und -apparaturen
- Umgang mit Vakuumanlagen
- Messen und Prüfen von Halb- und Fertigerzeugnissen

Außer Borsilikatglas (Normalglas) wird auch der Umgang mit Quarzglas und Keramik in die Ausbildung einbezogen.

Die *schweißtechnische Ausbildung* umfaßt die berufliche Ausbildung von Schmelzschweißern und deren betriebsinterne Weiterbildung. Sie erfolgt in den vier in Bild 2 aufgeführten Schweißverfahren. Die Lehrgänge sind in Ausbildungsstufen gegliedert und vermitteln die praktischen und fachkundlichen Kenntnisse entsprechend den Richtlinien des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik (DVS) e.V. Jährlich sind etwa 30 Schweißerprüfungen und 10 Verfahrensprüfungen bzw. Arbeitsproben mit Abnahme durch den TÜV durchzuführen. Zusätzlich sind jährlich etwa 50 Auszubildende, Praktikanten und Umschüler schweißtechnisch zu unterweisen.

TD-MW ist anerkannter Schweißfachbetrieb. Zur Aufrechterhaltung der Anerkennung müssen viele Schweißer der KFA regelmäßig Prüfungen nach DIN 8560 und 8561 (AD-Merkblatt HP 0) absolvieren. Eine Wiederholung erfolgt im jährlichen bzw. zweijährlichen Turnus (Bilder 3 und 4).

Die geschweißten Prüfstücke sind zu röntgen. Außer Proben für metallografische Untersuchungen werden Kerbfalt- und Kerbzugproben hergestellt und in der Schweißnaht gebrochen. Die Bruchflächen werden visuell auf Schweißfehler untersucht, die nach Anwendungskriterien zu bewerten sind.

Mit den Verfahrensprüfungen und den Arbeitsproben nach AD-Merkblatt HP 2/1 muß TD-MW nachweisen, daß sie mit ihrem Personal und den verfügbaren Betriebsmitteln die erforderliche Schweißverbindung herstellen kann (Bild 4). Die Falt- und Zugproben sind so gefertigt, daß sie nicht zwangsläufig im Schweißgut brechen. Zur Erfüllung der internen Anforderungen müssen ständig ca. 35 Verfahrensprüfungen verfügbar sein (Bild 3, Seite 55).

Die KFA bietet Schülern und Schülerinnen der Hauptschulen die Möglichkeit, sich in dreiwöchigen *Betriebspraktika* von den angebotenen Lehrberufen ein Bild zu machen und einen ersten Kontakt mit den praktischen Tätigkeiten eines bestimmten Berufes aufzunehmen. Hieran ist auch TD-MW beteiligt.

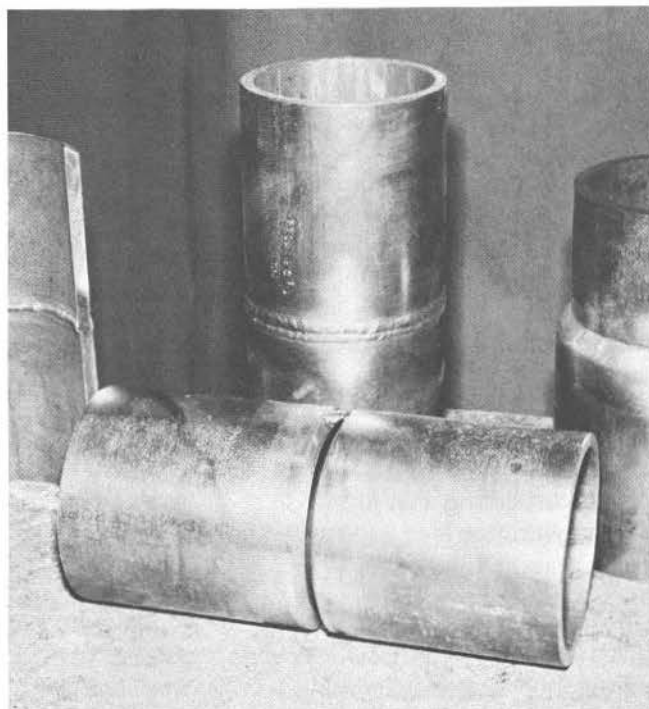


Bild 3
Vorbereitete und geschweißte Prüfstücke der Schweißerprüfung SG-R IV Bg;
Grundwerkstoff X8CrNiNb 16 13
(Werkstoff-Nr. 1.4961),
Schweißzusatz 2.4806 (Inconel 82)



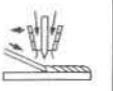
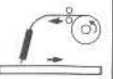
Schweißverfahren		Bevorzugter Anwendungsbereich	Grundwerkstoff	Ausbildungsdauer n. DVS-Richtlinien bis zur Schweißerprüfung
Darstellung	Symbol			
	G	Rohrleitungsbau für die Gas-, Wasser- u. Wärmeversorgung (Heizung)	Ferritische Werkstoffe	G1 ~80 h G2 ~144 h G3 ~72 h
	E	Stahlbau Apparatebau Maschinenbau	Ferritische und austenitische Werkstoffe	E1 ~80 h E2 ~144 h E3 ~80 h
	mWIG	Vakuumanlagen Apparatebau Maschinenbau Rohrleitungsbau	Ferritische und austenitische Werkstoffe; Al-, Cr-, Ni-Werkstoffe u. Legierungen	SG1 ~80 h (Stahl) SG2 ~80 h (Al) bis zur Prüfung zusätzlich 80 - 120 h
	tMSG (MAG)	Stahlbau Apparatebau	Ferritische Werkstoffe	SG3 ~80 h (Stahl) bis zur Prüfung zusätzlich 80 - 120 h

Bild 2
Schweißverfahren und deren Anwendungsbereiche für die berufliche Aus- und Weiterbildung von Schweißern in der KFA

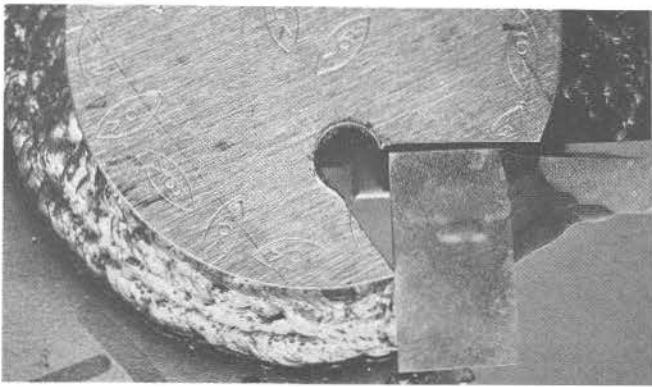


Bild 4

Arbeitsprobe mit einem ausgearbeiteten Makroschliff für eine Stutzeinschweißung am Wirbelschichtreaktor der JUPITER-Verbrennungsanlage (JUP)

Für Studenten der Fachhochschulen und Hochschulen stellt TD-MW gemäß den Richtlinien der Praktikantenämter praktische Ausbildungsmöglichkeiten für etwa 15 Studenten jährlich zur Verfügung.

Über das Grundpraktikum mit den klassischen Merkmalen der spanenden und umformenden Fertigungsverfahren sowie des thermischen Füge- und Trennverfahren hinaus können Aufbaupraktika absolviert werden. Dabei sind z.B. folgende Arbeiten durchzuführen:

- Entwicklung, Konstruktion und Arbeitsvorbereitung
- Werkzeug- und Vorrichtungsbau, Instandhaltung und Reparatur
- Messen und Prüfen in der Fertigung
- Beiz- und Oberflächenbehandlung

Aufgrund der vielseitigen internationalen Verbindungen der KFA wird sowohl von Forschungszentren als auch von Hochschulen der Wunsch an TD-MW herangetragen, *ausländische Fach- und Führungskräfte* beruflich weiterzubilden und mit praktischen Fragen der Werkstückplanung, der manuellen und maschinellen Fertigung, der Arbeitsablauf- und der Betriebsorganisation, der Betriebsmitteltechnik, der Entwicklung und Konstruktion von Versuchseinrichtungen sowie mit der innerbetrieblichen technischen Normung vertraut zu machen.

Die Weiterbildung findet als "on-the-job-training" überwiegend in TD-MW statt und wird schwerpunktmäßig thematisch ergänzt in Zusammenarbeit mit Instituten und Zentralabteilungen der KFA [30] sowie durch Teilnahme an Seminaren anerkannter Ausbildungsträger (REFA, AWF, VDI, DVS).

Im Rahmen des Aufbaus des KIM-Zentrum, einem – als Entwicklungsprojekt vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) und der Ge-

sellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) geförderten – Institut für Kalibrier- und Meßwesen (Metrologie) auf dem PUSPIITEK-Forschungsgelände in der Nähe von Jakarta/Indonesien, reichte die zusammen mit der PTB, Braunschweig, und dem TÜV, Köln, durchgeführte Projektberatung von der *Werkstätten- und Maschinenplanung* über deren Beschaffung bis hin zur Erprobung und Inbetriebnahme aller Maschinen und Einrichtungen einer Werkstatt, die vom Umfang her etwa der Hauptwerkstatt entspricht. Inbetriebnahme und Erprobung wurden vor Ort durch mehrwöchige Schulung ergänzt.

Insgesamt fünfzehn indonesische Mitarbeiter des KIM nahmen eine berufliche Weiterbildung in KFA/TD-MW auf den Gebieten Entwicklung und Konstruktion, Projekt- und Fertigungsorganisation, Fertigungstechnik einschließlich NC-Programmierung und NC-Fertigung, Schweiß- und Prüftechnik, Glastechnik und innerbetriebliche Normung wahr [48]. Ein Ingenieur konnte das REFA-Seminar für Industrial Engineering erfolgreich absolvieren.

Drei Techniker kamen vom LUK, einem indonesischen Institut für Werkstoffprüfung, ebenfalls auf dem PUSPIITEK-Forschungsgelände. Die übrigen Praktikanten kamen von der Universität Seoul/Korea, von der Universität Caracas/Venezuela, der Universität Monterrey/Mexiko, dem VTC Saana/Nordjemen und dem AEA, Kairo/Ägypten (Bild 5). Für das Forschungszentrum CDTN in Belo Horizonte/Brasilien, wurde eine Studie zur anforderungsgerechten Entwicklung des Werkstattwesens erarbeitet, welche die zunehmende Konzentration brasilianischer Forschungsaktivitäten auf dieses Zentrum auslöste.

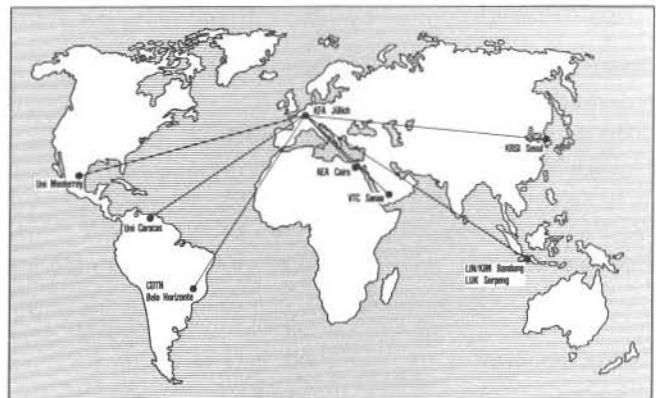


Bild 5

Herkunftsländer der etwa 20 in den letzten sechs Jahren ausgebildeten ausländischen Fach- und Führungskräfte

Vermittelbare Fertigungs- und Prüfleistungen

Die Übersicht kann nur einen allgemeinen Einblick in die Vielgestaltigkeit der externen Fertigungs- und Prüfleistungen geben. Sie sind – abhängig von den Firmenentwicklungen – einem ständigen Wandel unterworfen, der jedoch für die Fertigungsvergabe transparent ist.

Mechanische Bearbeitung und Gerätebau

Drehen

Spitzendrehbänke bis 4500 mm Ø und 6000 mm Spitzenweite bis 660 mm Ø und 16000 mm Spitzenweite

NC-Langdrehautomaten

Kopfdrehbänke bis 4000 mm Ø
Karusselldrehbänke bis 10000 mm Ø
NC-gesteuert

Fräsen

Fräsmaschinen bis 3500 x 1500 mm Arbeitsbereich
Kopier-, NC-Maschinen mit Digital-Istwertanzeige für 3 Achsen, Kopierbereich mit Spiegelbildeinrichtung

Tisch- und Plattenbohrwerke

CNC-Bohrwerk
x = 10000 mm
y = 4500 mm
z = 2200 mm

Bearbeitungszentrum mit DNC-System

Hobelmaschinen bis 11000 mm Länge bis 11000 mm Länge

Bohren

Bohrmaschinen bis 130 mm Ø, Ausleger bis 3300 mm, auf Bett 6000 mm verfahrbar
Tieflochbohren bis 200 mm Ø und 14000 mm Länge

Schleifen

Schleifmaschinen
– flach bis 2200 x 11400 mm
– außen rund bis Ø 1050 x 10000 mm
– innen rund bis Ø 400 x 1000 mm
– Gewinde M 1 bis M 120

Optische Profilschleifmaschine
Spitzenlose Rundschleifmaschine
Zahnflanken- und Keilwellenschleifen

Sondermaschinen – Sonderbearbeitungen

Hon- und Läppmaschinen bis 25000 mm Länge
Verzahnen Modul 0,3 bis 16 mm
Erodiermaschinen 1000 x 1000 mm Arbeitsbereich, Werkstückhöhe bis 800 mm
NC-Drahterodiermaschinen
Gewindeerodiereinrichtung
Keilnuten-Ziehmaschinen Nuten (3-40) x (100-310) mm

Graviermaschinen
Auswuchtmaschinen
Lasereinrichtungen

zur Herstellung von Kleinstbohrungen

Spezielle Maschineneinrichtungen für die Herstellung von Einzelteilen aus Werkstoffen wie

Graphit	Molybdän	Wolfram
Beryllium	Niob	Blei
Densimet	Tantal	Hartmetalle
Elmet	Titan	

Werkzeugbau

Maschineneinrichtungen für die Herstellung von Vorrichtungen
Stanz- und Schnittwerkzeugen für Sonden und Proben
Kollimatorblechen
Uran-Pelletpressen
Prägestempeln

Kunststoffverarbeitung

Bearbeitungseinrichtungen für Thermoplaste, Duroplaste, GFK, Hartgewebe u.a.

Spritzgußformteile

Auskleidung und Beschichtung von Behältern, Rohrleitungen, Apparaturen
Modellanfertigung in Metall, Holz, Plexiglas

Glasbearbeitung

Oberflächenbearbeitung und Verarbeitung von Glas; Glasinstrumente, Neutronenleiter, Optische Systeme

Glas-Metallverbindungen

Blechbearbeitung, Apparate- und Stahlbau

Schneiden – Nibbeln – Stanzen

Scherenzuschnitte	Blechdicke 16 mm, Schnittlänge 6050 mm; Blechdicke 20 mm, Schnittlänge 1280 mm
Brennschneiden, optisch und numerisch gesteuert	Blechdicke 3-300 mm Schneidlänge 17750 mm für komplizierte Werkstücke, z.B. mit Schweißfugen bis 8 mm Blechdicke, Maßgenauigkeit $\pm 0,1$ mm
Stanzen, Nibbeln, numerisch gesteuert	

Biegen

Abkanten, hydraulisch gesteuert	
Rundbiegen, selbstanbiegend, hydraulisch	bis 25 mm Blechdicke, bis 1745 mm Länge bis 90 mm Blechdicke, bis 3500 mm Länge

Rohrherstellung Rohraushalsungen	Sonderabmessungen insbesondere für die Herstellung von UHV- Rezipienten
-------------------------------------	--

Drücken

Metalldrücken	Ziehen, Pressen, Prägen
---------------	-------------------------

Richten

Blechrictmaschine mit 21 Richtrollen	bis 1500 mm Arbeitsbreite, 2-16 mm Blechdicke
---	---

Fügetechnik

Schweißen	Schweißfachbetrieb für A + E und WIG mit Prüf- einrichtungen von O-R- bis Röntgenprüfung 2000 x 1600 x 2100 mm Arbeitsraum
-----------	---

Elektronenstrahlschweißen Steuerung: CNC-3D-Bahnsteuerung	
--	--

Laserschweißen Mechanisertes Schweißen Auftragsschweißen	z.B. für Membranbälge
--	-----------------------

Löten

Hochtemperatur-Löten (Ofenlöten)	Ø 1500 x 2000 mm Arbeitsraum bis 1350°C Arbeitsvakuum 5 x 10 ⁻⁶ mbar Chargengewicht max. 1500 kg
-------------------------------------	---

Lötverbindung Cu-Graphit

Gießereitechnik

Stahlguß

Gußeisen mit Lamellengraphit (Grauguß)
Gußeisen mit Kugelgraphit (GGG)
Temperguß (GTW und GTS)
NE-Schwermetalle
NE-Leichtmetalle (Al-Knet- und -Gußlegierungen)
Herstellen von Gießmodellen (Formen- und Modell-
bau)

Werkstoffprüfung

Werkstoffprüfeinrichtungen für
Röntgen- und Ultraschallprüfungen
Rißprüfungen mittels Ultraschall, Magnetoflux,
Met-L-Check
Permeabilitätsmessungen
Rauhtiefenmessungen
Zug-, Biege-, Kerbschlagversuche auch bei
tiefen Temperaturen
Härteprüfungen (HB und HV)
Macro-Schleifproben

Wärmebehandlung

Glühen

Spannungsarmglühen, Normalisieren, Lösungsglühen, Anlassen in Glühofen	bis 6000 x 6000 x 26000 mm Stückgröße Wärmebehandlung bis 1200°C
---	---

Vakuum- und Schutz- gasöfen	bis 1500 mm Ø Arbeitsraum, 2100 mm Höhe
--------------------------------	---

Härten

Härterei-Betriebe für Härten bis 1300°C Einsatzhärten Flammhärten	Tiefkühlen Anlassen Nitrieren
--	-------------------------------------

Oberflächenbehandlung

Beschichten – Galvanisieren – Strahlen

Taupunktbeschichten

Beschichten mit

Rilsan	Chromoxid
Teflon	Hasteloy
Wolfram	Keramik
Nickel-Bor	Kunststoff
Aluminium	Molybdän
Bronze	Oxidkeramik

Behandlungsverfahren

Aufdampfen	Mattieren
Badnitrieren	Mech. Verbleien
Brünieren	Phosphatieren
Beizen	Polieren
Cadmieren	Pallnick (Palladium-Nickel)
Coatieren	Rhodinieren
Dehydrieren	Schwarzverchromen
Dickvernickeln	Sandstrahlen
Elektropolieren	Trommeln
Eloxieren	Verbleien
Edelstahlplattieren	Verchromen
Farbspritzen	Vergolden
Feuerverzinken	Versilbern
Finishen	Verkupfern
Galvanisieren	Vermessingen
Glasperl-Strahlen	Vernickeln
Hartverchromen	Verzinken
Karbonitrieren	Verzinnen
Kugelstrahlen	Wirbelsinterbeschichten
Metallätzen	

Meßtechnik

Erfassung mechanischer und physikalischer Größen

Mehrkoordinaten-Meßgeräte

mit Rechnersteuerung

Meßbereiche 600 x 600 x 800 mm

1000 x 1000 x 1200 mm

Laser-Geradheitsmeßsystem

Montage- und Reparatur-Facharbeiten

Geräte- und Apparatebau

Druckbehälterbau

Anlagenbau

Stahl- und Rohrleitungsbau

Fachkräfte gemäß Strahlenschutzverordnung § 20a

Leihfachkräfte gemäß AÜG (Arbeitnehmer-Überlassungs-Gesetz)

Literaturhinweise

- [1] Kriechel, H.:
Entwicklung und Auslegung eines Ultrahochvakuum-Manipulators mit fünf Freiheitsgraden
Jül-Spez. 285 (1985)
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, März 1983
- [2] Borgs, W.; Chatzipetros, J.; Lavin, H.; Sistemich, K.:
Measurement of Perturbed Angular Correlations at JOSEF
Jül-Spez. 146 (1982) 129
- [3] Borgs, W.; Chatzipetros, J.; Lavin, H.; Sistemich, K.:
Set-up for g-factor measurements at JOSEF
Annual Report (1982) KFA/IKP
- [4] Helten, M.; Mihelcic, D.; Trainer, M.; Klein, E.; Pätz, W.; Gerhard, P.; Chatzipetros, J.; Stechemesser, H.; Scharenberg, W.; Klomfass, J.; Schmitz, J.; Ehhalt, D.H.:
Messung von Radikal-Konzentrationen in der Atmosphäre
Interner Bericht, KFA/ICH-3 (1979)
- [5] Wöllgens, D.:
Konstruktion eines Kryosammlers zur Entnahme von Luftproben in der Stratosphäre
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, Mai 1981
- [6] Schumacher, H.P.:
Auslegung und konstruktive Gestaltung eines Kryosammlers für Flugzeugexperimente zur Messung von Radikalen-Konzentrationen in der Troposphäre
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, Mai 1981
- [7] Funken, D.:
Entwicklung und Konstruktion eines Transportkryostaten zur Beförderung von Luftproben
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, Oktober 1980
- [8] Hackfort, H.; Chatzipetros, J.; Aßmann, G.:
Verfahren zum Ausfrieren von Xenon aus dem Auflöserabgas von Wiederaufbereitungsanlagen
Jül-Spez. 287 (1984)
- [9] Henseler, D.:
Entwicklung und Auslegung einer kryogenen Apparatur zur Desublimation von Xe aus einem N₂-Xe-Kr-Gasgemisch
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, Februar 1982
- [10] Esser, U.:
Aufbau und Inbetriebnahme einer Tieftemperaturmeßeinrichtung für Phasengleichgewichtsmessungen und optische Absorptionsmessung an Gemischen von Edelgasen und Luftkomponenten mit Ozon
Diplomarbeit RWTH Aachen, Aachen, Mai 1980
- [11] Doose, C.:
Technische Grundlagen eines einfachen ³He/⁴He-Mischungs-Refrigerators
(Übers. „Elementary Dilution Refrigeration“, A.C. Anderson, Rev. Sc. Instr. 41 (10) 1970)
Interner Bericht KFA/IFF, Februar 1971
- [12] Bechthold, P.S.; Campagna, M.; Chatzipetros, J.:
Variable Temperature Photoacoustic Spectroscopy, I. Instrumentation
Optics Communications, March 1981
- [13] Bechthold, P.S.; Campagna, M.; Chatzipetros, J.:
Design, Properties and Applications of Helmholtz Resonant Photoacoustic Cells for Measurements at Variable Temperatures
2nd Int. Topical Meeting of Photoacoustics
Berkeley, California, June 1981
- [14] Bechthold, P.S.; Chatzipetros, J.:
Cryogenic Photoacoustic Cell for the Temperature Range 8 K to Room Temperature
3rd Int. Conference on Photoacoustic and Photo-thermal Spectroscopy
Paris, April 1983
- [15] Elf, F.; Will, G.; Chatzipetros, J.; Dujka, B.:
Full-Circle Eulerian Cradle for Low Temperature Neutron Investigation
Revue de Physique Appliquée (19) Sept. 1984 No. 2
- [16] Schätzler, R.; Wyrwich, H.; Chatzipetros, J.; Kirsch, O.; Hempelmann, R.; Richter, D.:
New Velocity Drive for Backscattering Spectrometers
IAEA-CN-46/7P, Januar 1985
- [17] Elf, F.; Will, G.; Chatzipetros, J.; Dujka, B.:
Eine neue Tieftemperatur-Eulerwiege
Jül-Spez. 316, Juni 1985

- [18] Gudat, W.; Pflüger, J.; Chatzipetros, J.; Peatman, W.:
An Undulator Multipol Wiggler for the BESSY Storage Ring
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 246 (1986)
- [19] Gudat, W.; Pflüger, J.; Peatman, W.; Chatzipetros, J.:
An Undulator Multipole Wiggler for the BESSY Storage Ring
International Conference on x-RAY and VUV Synchrotron Radiation Instrumentation
Stanford, California, Juli 1985
- [20] Pientok, A.:
Entwicklung und Konstruktion eines Kryostaten mit supraleitender Spule zur Aufnahme von Kernresonanz-Spektren
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, Januar 1979
- [21] Schnitzius, E.:
Entwicklung der Justiereinrichtung und des mechanischen Antriebs eines Multipolwiggler
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, April 1984
- [22] Doose, C.; Schröck-Vietor, W.; Tappenhöfner, D.:
Tieftemperatur-Leistungsübertragung (TLÜ) Die Möglichkeiten zur Übertragung hoher und höchster elektrischer Leistungen mit supraleitenden Kabeln
Eine Auswertung der wichtigsten Veröffentlichungen
JÜL-631-Pa (Dez. 1969)
- [23] Kirsch, O.:
Entwicklung und Konzipierung eines Antriebes zur Neutronenreflexion
JÜL-Spez. 257 (Mai 1984)
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, März 1984
- [24] Verführt, T.:
Entwicklung und konstruktive Auslegung eines Neutronenrückstreuungspegels mit Chopper-Funktion
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, März 1985
- [25] Bauer, G.S.; Conrad, H.; Duppich, J.; Fischer, W.; Golub, R.; Grünhagen, K.; Rausch, W.; Spitzer, H.:
Subthermische Neutronenausflüsse und Zeitstrukturmessungen an kalten Moderatoren für eine Spallations-Neutronenquelle
Interner Bericht KFA/SNQ A 1086.1, August 1985
- [26] Kampffmeyer, H.-J.; Bonan, C.:
Mechanisiertes Schweißen von austenitischen Präzisions-Edelstahlrohren
Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V., DVS-Bericht 38 (1975)
- [27] Döhler, R.:
Untersuchung der durch den Schweißprozeß verursachten Veränderung der Geometrie von Schweißverbindungen
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, Mai 1977
- [28] Weßels, G.:
Untersuchung der Schweißbarkeit der aushärtbaren Aluminium-Legierung AlMgSi0,5 für kerntechnische Bauelemente
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, Mai 1973
- [29] Wolfertz, U.:
Entwurf einer Anlage zum Verschließen von Behältern für radioaktive Abfälle in Abfallzellen
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, Mai 1979
- [30] Ramos, P.R.:
Garantia e Controle de Qualidade para Vasos de Pressao em Instalacoes Nucleares
Interner Bericht KFA/ZBB-TN-35/80, Dezember 1980
- [31] Doose, C.:
Kriterien zur Auswahl von Werkstücken für konventionelle oder NC-Fertigung (Dreh-, Bohr- und Fräsbearbeitung)
JÜL-Spez-338 (Nov. 1985)
- [32] Schmitz, H.:
Berechnung, Bau und Erprobung einer Wirbelbettbeschichtungsanlage für Kernbrennstoffe
JÜL-1738 (Sept. 1981)
- [33] Hinssen, H.K.:
DIVA (Diffusions-Versuchs-Anlage)
Interner Bericht KFA/ISF-IB-4/84
- [34] Schmatz, W., Stiller, H.:
Die Streuung langsamer Neutronen; The Scattering of Slow Neutrons
Kerntechnik 13 (1971) No. 12
- [35] Doose, C.:
Beam Tube Equipment for the FRJ-2 (DIDO) Cold Neutron Source
AERE-Trans. 1043, August 1965

- [36] Doose, C.:
Tieftemperaturanlagen der Kernforschungsanlage Jülich
Dech.-Monogr. Bd. 58 (1968)
- [37] Doose, C.; Stiller, H.H.; Tholen, A.:
The Cold Neutron Source at FRJ-2 (DIDO)
Proceedings of the Third International Cryogenic Engineering Conference (ICEC 3)
Berlin, May 1970
- [38] Doose, C.; Preussner, A.; Stelzer, F.;
Stiller, H.H.; Tholen, A.:
The Cold Neutron Source in Juelich
Cryogenics 13 (1971) No. 2
- [39] Doose, C.:
Planung und Entwicklung der Kalten Neutronenquelle am Reaktor FRJ-2 (DIDO)
Planning and Development of the Cold Neutron Source at the Reactor FRJ-2 (DIDO)
Kerntechnik 13 (1971) No. 12
- [40] Doose, C.; Tholen, A.:
Bau und Betrieb der Kalten Neutronenquelle am Reaktor FRJ-2 (DIDO)
Construction and Operation of the Cold Neutron Source at the Reactor FRJ-2 (DIDO)
Kerntechnik 13 (1971) No. 12
- [41] Doose, C.; Stelzer, F.; Stiller, H.H.; Tholen, A.:
Engineering Aspects of the Cold Neutron Source at the Reactor DIDO
Proceedings on Irradiation Facilities for Research Reactors
Vienna, IAEA-SM-165/47 (1973)
- [42] Doose, C.; Hanning, E.; Stockmeyer, R.:
Ein großes Neutronen-Flugzeitspektrometer mit Luftkissenlagern
A Large Neutron Time-of-Flight-Spectrometer with Air Pad Supports
Kerntechnik 17 (1975) No. 12
- [43] Hoffmann, N.:
Einfluß von Massenkräften auf die Gebrauchsdauer gleichförmig umlaufender Planetenradwälzlager
Dissertation Ruhr-Universität Bochum,
Januar 1978
- [44] Jarchow, F.; Hoffmann, N.:
Tragfähigkeit von Planetenradwälzlager
VDI-Berichte Nr. 332 (1979)
- [45] Heybutzki, H.; Krug, W.; Seferiadis, J.;
Peerenboom, H.; Tillmanns, W.; Sigismund, E.:
Entwicklung und Bau eines teilgekühlten gelöteten Testgitters für den Teststand der Neutralteilcheninjektion
Interner Bericht KFA/ZBB-IB-6/84
- [46] Düren, W.:
Untersuchung von Möglichkeiten der Kennzeichnung und Mikroverfilmung von Fertigungsaufträgen als Grundlage einer EDV-gestützten, systematischen Arbeitsvorbereitung der TD-MW
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, August 1979
- [47] Schulz, S.:
Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Bauelemente-, Geräte- und Anlagen-Standardisierung im Versorgungsbereich der KFA
Diplomarbeit Fachhochschule Aachen, Aachen, Dezember 1979
- [48] Sunardi, U.:
Laporan Training CNC-Teknik di Technische Dienste – Mechanische Werkstätten (TD-MW)
Interner Bericht KFA/TD-MW, Februar 1984

Patente und Patentanmeldungen

- Chatzipetros, J.; Helten, M.:
Kryopumpe und Kryosammler zum Aufsammeln von Luftproben
- | | |
|----------------------------|----------------------|
| USA | Patent Nr. 4.425.811 |
| Frankreich | Patent Nr. 8021658 |
| Bundesrepublik Deutschland | Patent Nr. 2942305 |
- Chatzipetros, J.; Helten, M.:
Wandabstützung von Doppelwandbehältern, insbesondere von Dewar-Gefäßen
- | | |
|----------------------------|----------------------|
| Bundesrepublik Deutschland | Patent Nr. 2942164 |
| USA | Patent Nr. 4.343.413 |
| Großbritannien | Patent Nr. 2060863 |
| Frankreich | Patent Nr. 8021327 |
- Chatzipetros, J.; Bechthold, P.S.:
Temperierte Meßzelle für die Photoakustische Spektroskopie
- | | |
|----------------------------|----------------------|
| Bundesrepublik Deutschland | Patent Nr. 3008546 |
| USA | Patent Nr. 4.399.689 |
| Großbritannien | Patent Nr. 2071297 |

Wyrwich, H.; Chatzipetros, J.; Grasczew, G.;
Feinendegen, L.E.:
*Vorrichtung zur Ausmessung leicht deformierbarer
Objekte*

Bundesrepublik Deutschland Patent Nr. 3335743

Erdmann, G.; Küppers, G.; Sachsenhausen, H.:
*Verfahren und Vorrichtung zum Öffnen von Bestra-
hungsampullen*

Bundesrepublik Deutschland Patent Nr. 3045559
Großbritannien Patent Nr. 2090825

Chatzipetros, J.; Dujka, B.; Elf, F.; Will, G.:
Eulerwiege für Tieftemperatur-Diffraktometrie
Deutsches Gebrauchsmuster Nr. G 8423909
Patentanmeldung USA Nr. 699731

Bechthold, P.S.; Chatzipetros, J.:
Temperierbare PAS-Zelle
Deutsches Gebrauchsmuster Nr. G 8228818.6

Fabian, H.J.; Patay, J.; Chatzipetros, J.:
*Druckfester Behälter zur Speicherung von Wasser-
stoff in einem Getterbett*
Deutsche Patentanmeldung Nr. P 3440633.6

Chatzipetros, J.; Hackfort, H.:
*Verfahren und Vorrichtung zur Abtrennung einer Gas-
komponente aus einem Gasgemisch durch Ausfrie-
ren.*
Deutsche Patentanmeldung Nr. P 3422417.3
Patentanmeldung Europa (D,F,GB,CH) Nr. 85.107353.6
Patentanmeldung USA Nr. 745645

Hoffmann, N. u.a.:
*Typenhebelgetriebe für kraftangetriebene Schreibma-
schine*
Frankreich Patent Nr. 7129403
Schweden Patent Nr. 7.111.746-9
Italien Patent Nr. 936.994
Deutsches Gebrauchsmuster Nr. G 7121261.8

Doose, C.; Hemmerich, H.; Sassin, W.:
*Rohrleitungssystem für tiefkalte und/oder verflüssig-
te Gase*
Japan Patent Nr. 611052
Großbritannien Patent Nr. 1202557
USA Patent Nr. 3.466.886
Frankreich Patent Nr. 1534319
Schweden Patent Nr. 313471

Doose, C.:
*Leitungssystem zum Transport von flüssigen und/
oder gasförmigen Medien*

Bundesrepublik Deutschland Patent Nr. 1954681
USA Patent Nr. 3.686.442
Frankreich Patent Nr. 7039068
Großbritannien Patent Nr. 1323552

Doose, C.; Sassin, W.:
*Leitungssystem zum Transport von elektrischer Ener-
gie im Bereich der Tieftemperatur- oder Supraleitfä-
higkeit*

USA Patent Nr. 3.697.665
Frankreich Patent Nr. 7045159
Großbritannien Patent Nr. 1339442

Doose, C.; Sassin, W.:
*Leitungssystem zur Übertragung elektrischer Energie
über große Entfernungen mittels tiefgekühlter elektri-
scher Leiter*

Frankreich Patent Nr. 7045158
USA Patent Nr. 3.686.423

